

豪雪地帯を高速走行する列車床下機器への着雪に関する研究

—第 3 報 着雪及び落雪の実態

○宮部 実* (西日本旅客鉄道)

[機]兵頭 信彦(前 金沢工業大学(院))

吉田 伸司(西日本旅客鉄道)

[機]平間 淳司(金沢工業大学)

[機]永瀬 和彦(金沢工業大学)

Investigation into Snow Flakes Which Adhered on the Under-floor of

JR Ltd Express EMUs

— 3rd Report, Behavior of Adhering and Dropping of the Flakes —

Minoru Miyabe (West Japan Railway Co.) Nobuhiko Hyodo (Kanazawa Institute of Technology)

Shinnji Yoshida (West Japan Railway Co.) Jyunji Hirama (Kanazawa Institute of Technology)

Kazuhiko Nagase (Kanazawa Institute of Technology)

One third of Japan rails were snow bound in winter, and the side windows of the train operated in these areas were sometimes broken. These damages were presumably caused by the fling ballasts, which were jumped up by the snowflakes dropped from the under floor of the trains. However, the site where, the damages were occurred was not made clear. To catch the conclusive evidence and to investigate the mechanism of the damages, night visual CCD cameras were installed at the head end cab and the couplings slit between the cars of a narrow gauge JR Ltd EMU. The EMU was operated between Kanazawa and Echigo-Yuzawa along one of the most snow bound areas in Japan and the cameras took continuously the images of the site. As the result of the study, the authors found the cameras caught the image of the site at the moment when the snowflakes were just dropping from the cars. The results of the investigation were reported briefly.

キーワード: 鉄道, 鉄道車両, 雪, 落雪

Keyword: Railway, Snow, Rolling Stock, Snow Flakes

1. はじめに

冬季に豪雪地帯を走行する車両の床下機器等に付着した雪の落下により発生すると推定される側窓ガラス破損などの問題は、豪雪地帯を運行する鉄道共通の悩みである。これら問題解決のため、筆者らは車両への着雪と落雪のメカニズムを調べる研究を行って来た。昨年度までに、軌道上の積雪及び床下着雪の状況を連続取得する装置、落雪に関与すると推定される床下機器周辺温度、床下の風速、落雪及び砕石などが床下に衝突する際の衝撃を捉えるセンサ並びにトンネル突入時の衝撃波発生の有無などを連続測定できる装置を試作し、日本屈指の豪雪線区である上越線及び北越急行線を走る特急電車「はくたか」にこれを搭載した。

当該装置によって得た情報を解析した結果、着雪には積雪

量だけでなく沿線の気温も深く関与すること、断面が狭い在来線単線トンネル内では新幹線のような衝撃波は発生しないと推定されること及び床下の風速はその値が最大となる単線トンネルやホーム通過時でも、列車走行速度の 6 割程度であることなども明らかにした^{(1),(2)}。しかし、前年度の降雪及び積雪量は少なかったために、より具体的な成果を得ることはできなかった。

本装置は平成 19 年度にも従前と同様の列車に搭載され、着雪及び落雪の状況を調査した。その結果、一部ではあるが車体に付着した雪が軌道に落下する瞬間の画像を捉えることができた。

2. 研究の方法

表1 使用センサ・取得情報・サンプリング時間

各種センサ	1号車が記録する情報	9号車が記録する情報	サンプリング時間
カメラ	1号車運転台前方	9号車運転台前方	1s
	1,2号車連結面間(山側)	8,9号車連結面間(海側)	1s
衝撃センサ	1号車床下機器箱	9号車床下機器箱	60ms
温度センサ	1号車ATS-P車上子付近	9号車ATS-P車上子付近	60ms
	1,2号車連結面間(海側)	8,9号車連結面間(山側)	60ms



図1 CCDカメラを内蔵した旋回窓の取付状況

2.1 計測対象列車と運行区間

対象列車は従前の研究と同じJR西日本金沢支社所属の681系9両編成であり、対象区間も従前と同じ金沢～越後湯沢間である⁽¹⁾。

2.2 取得する情報とサンプリング時間

本研究で取得した主な情報、センサの種類及び設置場所並びにサンプリング時間を表1に示す。設置位置なども昨年と同じである⁽²⁾。なお、取得した情報の処理は市販のPCで行われるため、サンプル時間は必ずしも正確ではない。車両連結面間の着雪状況を連続撮影するために、特別に試作したCCDカメラ内蔵の旋回窓外観を図1に示す。

2.3 情報取得期間とその間の天候

情報の取得は平成19年度の当初から平成20年2月19日までの間、装置の整備など、特別の事情がある期間を除き、連続して行った。ただし、冬季のみ取得するデータ用のセンサは11月下旬に現車に取り付けた。

落雪による被害は沿線の積雪が深く関与すると推定される。そこで、沿線気象観測地点のうち、最も積雪量が多い

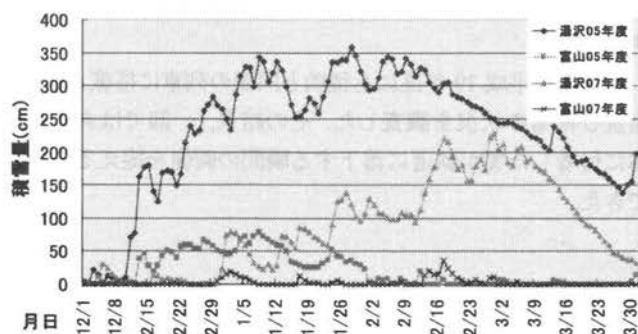


図2 沿線の積雪状況 (越後湯沢及び富山)



線直近観測所：泊、天候：雪、降水量：1[mm]、気温：0.6[℃]、降雪：

1[cm]、積雪：17[cm]

図3 北陸線内における床下への着雪状況

(08-01-01, はくたか13号, 9号車)

越後湯沢及び比較的積雪量の少ない富山の積雪情報を気象庁電子閲覧室から取得して整理したものを図2に示す。

図には越後湯沢で過去2番目の積雪量を観測し、「はくたか」の窓ガラスが多く破損した平成17年度のデータを併記した。図示のとおり、データを取得した昨年度は2月の後半から多量の降雪があったが、それ以外は大きな積雪はない。

3. 測定結果と考察

3.1 沿線の積雪と気象とが着雪に及ぼす影響

図3はレール踏面程度までの積雪があり、気温0℃程度、毎時約1cmの降雪がある気象状況、つまり、太平洋側の地域では大雪と称せられる気象の下で、先頭9号車と8号車との間の連結面付近の着雪状況を調べた結果を示し、測定条件及び直近の気象庁観測所の気象データなどは図中に記す。図の下側が9号車(先頭車側)、上側は8号車(2両目)である。図示のとおり、この程度の気象条件の下でも○印を付した2両目車端部前側の床下機器には僅かながら雪が付着したことを示している。

図4は同じ列車が同じ日に豪雪区間に進入した後の着雪状況を示す図である。内部の気温が11℃程度ある長さ11kmの北越急行・赤倉トンネル(単線)を通過したことによって、車体に付着した雪のほとんどを払い落した直後の状態を左図は示す。その後に積雪75cmの雪中を17分程度は走行しただけで、車体だけでなくジャンパ線も含めて顕著に雪が付着することを右図は示している。

3.2 連結位置が着雪に及ぼす影響

連結位置は着雪に多様な影響を及ぼすと推定される。積



沿線直近観測所：湯沢、天候：雪、降水量：3[mm]、気温：-1.3[℃]、

降雪：4[cm]、積雪：75[cm]

図4 豪雪区間における床下への着雪状況の挙動

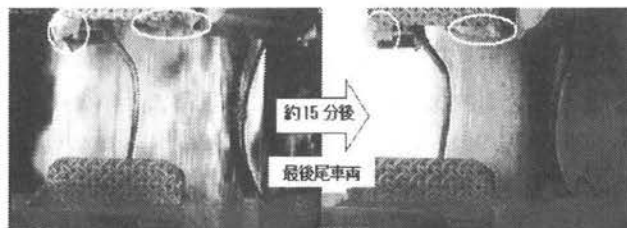
(08-01-01, はくたか13号, 9号車)



沿線直近観測所：湯沢，天候：雪，降水量：2[mm]，気温：-0.5[℃]，
降雪：2[cm]，積雪：72[cm]

図 5 先頭車両床下の着雪状況

(08-01-02，はくたか3号，9号車，赤倉トンネル～越後湯沢間)



沿線直近観測所：湯沢，天候：雪，降水量：2[mm]，気温：-0.4[℃]，
降雪：5[cm]，積雪：77[cm]

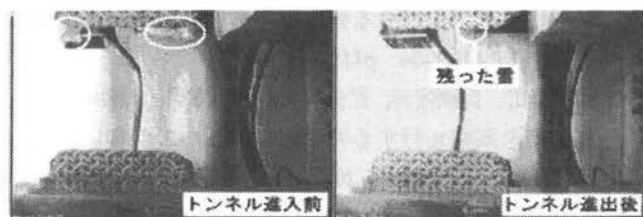
図 6 最後尾車両床下の着雪状況

(08-01-02，はくたか6号，9号車，越後湯沢～赤倉トンネル間)

雪が多い区間では，前部車両は排雪作業をも行うために着雪が多いと考えられるが，反面，巻き上げ雪の影響を考慮すれば後部車両への着雪も少なくないと推定される．そこで，同じ区間で前部と後部との着雪の差異を調べてみた．

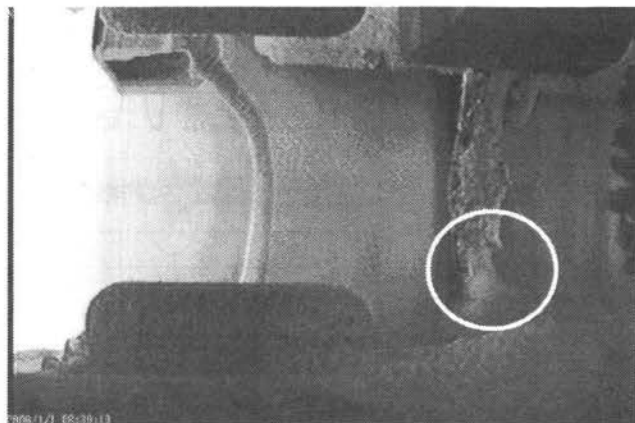
図 5 は前記の北越急行・赤倉トンネルの六日町方出入口から越後湯沢まで走行する間の先頭車の着雪状況を示し，図 6 は同じ車両が越後湯沢で折り返して同じ地点まで走行する間，つまり，車両が最後部に位置することとなった場合の着雪の状況を調べたものである．図示のとおり，降雪は 車両が後部に位置することとなった時点の方がやや多い．

着雪の状況をみると，両図に示すとおり先頭車の方が多い．本事例では，線路上に特別に多量の積雪がない状況にあって，先頭車両が排雪しながら走行した訳ではない．このような気象状況の下でも前部車両の方が着雪が多いという事実を踏まえば，巻き上げによって後部車両に付着する雪の量は多くはないと判断される．



沿線直近観測所：湯沢，天候：雪，降水量：4[mm]，気温：-0.1[℃]，
降雪：2[cm]，積雪：79[cm]

図 7 延長 10.5km の赤倉トンネル通過前後の着雪の変化
(08-01-02，はくたか6号)



沿線直近観測所：湯沢，天候：雪，降水量：4[mm]，気温：-1.3[℃]，
降雪：4[cm]，積雪：46[cm]

図 8 越後湯沢駅停車直前の落雪の状況

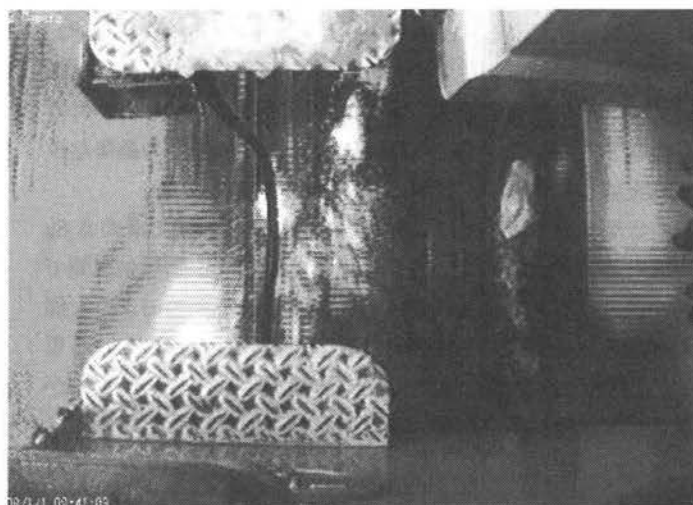
(08-01-01，はくたか1号，9号車)

3.3 長大トンネル通過時の落雪の効用

豪雪地帯の山岳線区には長大トンネルが存在する事例が多く，これらのトンネルは車体や台車の着雪を振り落とす絶好の場所とされ，乗務員から歓迎されてきた．図 7 に「はくたか号」が走行する豪雪区間内最長の赤倉トンネル通過前後の着雪の変化を示す．トンネル進入前にわずかの着雪しかないのに，トンネル通過後も着雪の一部が未だに残留している．長大トンネルが着雪のスクリーンとして万全ではないことを示す事例である．

3.4 落雪の状況

本研究の途上で数例ではあるが，車体に付着した雪が走行中に落下する瞬間の画像を取得した．一例を図 8 に示す．図は図中に記載した列車が終着越後湯沢に到着寸前に，○印を付した 9 号車ジャンパ栓付近に付着していた雪が落下する瞬間の画像である．当駅で列車は下り本線到着のため，2 組の



沿線直近観測所の天候：晴，降水量：0[mm]，気温：8.5[℃]，
降雪：0[cm]，積雪：0[cm]

図 9 十日町駅進入時，分岐器上での落雪

(08-01-01，はくたか4号，9号車)

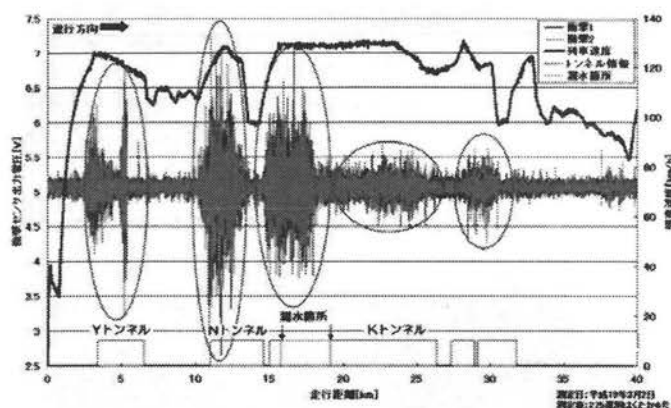


図 10 波状磨耗発生区間の床下機器の振動

分岐器を渡る必要があり、その際、2両の車体相互間位置が大きく変位し、これにつれジャンパ線も大きく振られて落雪が起きたのであろう。

図 9 は金沢行はくたか 4 号が図示気象条件の下で、越後湯沢を発車後に少なからぬ雪を付着させた状態で赤倉トンネルに突入し、内部でほとんどの雪を落下させてトンネルを進出した直後に十日町駅進入の際、後から 2 両目の 8 号後部車端機器箱の連結面側に残留していた雪が落下した瞬間を捉えたものである。

駅進入時に 45km/h で 12 番分岐器を対向して通過中にトンングレール部真上で、恐らくは分岐器通過に伴う動揺によって雪が落下したのを捉えた画像である。

画像から、高速ではないにも関わらずトンングレールと基本レールとの隙間の恐らくは床板上に落下した雪が大きく跳ね返っている状況がわかる。落雪の一部は、この隙間に入り込んだと推定される。列車の落雪が冬季に発生する分岐器転換不良の要因とされているが、本画像はそれを裏付けている。

3.5 レール波状磨耗の振動による落雪

波状磨耗は軌道と車両とに大きな加速度を生じさせることは広く知られている。図 10 は長大トンネルが連続し、かつ、顕著な波状磨耗が発生する区間で床下機器箱に設置した加速度センサが捉えた出力である。機器箱にセンサを取り付けた状態での校正が極めて困難なために、加速度の厳格な校正は実施しておらず、出力は電圧表示するに留めた。

波状磨耗発生区間外での加速度レベルは両振幅で最大 0.5g 程度と推定されるので、丸印を付した顕著な振動発生区間での加速度は 7.0g 以上に達すると推定される。このような顕著な振動が発生している床下機器箱表面に付着している雪は、この振動の影響によって落下が促進されることは疑いがなく、波状磨耗発生区間は落雪発生の要注意箇所である。

4. 結論

豪雪線区を高速で走行する在来線特急電車からの落雪によって引き起こされる諸問題解決のために、これらの線区を走る列車に着雪と落雪の状況を連続撮影できる CCD 暗視カメラを装着し、その実態を調査した結果、以下のようなことがわかった。

- 1) レール踏面付近まで積雪があり、外気温が零度程度で、かつ、若干の降雪が持続中の気象状態の下でも着雪は起きていることがわかった。
- 2) 列車に付着する雪の量は積雪、降雪及び外気温がほぼ同じ場合には、列車編成の前部車両の方が多い。この事実を踏まえれば、列車風により舞い上がる雪が車両への着雪に寄与する割合は高くはないと推定される。
- 3) 厳冬期でも内部の温度が 10℃を下回ることのない長さ 10km 程度の長大単線トンネルを高速で列車が通過した場合、着雪の多くは落下するが、それでも、少なからぬからぬ着雪が車体に残留する。
- 4) 通過時に大きな振動や車両動揺が発生する分岐器上では落雪が多発する傾向にあり、特にジャンパ連結器に付着した雪の多くは分岐器の分岐側を通過する際に落下する。
- 5) 上記地点で発生した落雪の一部は軌道に激突してトンングレールと基本レールの隙間に入り込み、降雪時の分岐器不転換の一因となり得ることを確認した。
- 6) 顕著な波状磨耗が起きている区間では床下機器に顕著な振動が発生し、この振動が落雪の一因となっている可能性がある。

謝 辞

本研究の実施に際し、JR 西日本本社及び同金沢支社並びに北越急行の関係各位から多くのご指導とご援助を頂いた。測定装置の構築、データの取得は金沢工大永瀬研究室学部研究生小梶勉、武田拓之、嶽拓郎君をはじめとする多くの方々の協力によるところが大きい。ここに関係各位に深謝の意を表します。

文 献

- (1) 西浦崇郎、兵頭信彦、橋本人成、平間淳司、永瀬和彦:「豪雪地帯を高速走行する列車床下機器への着雪に関する研究」, J-RAIL2006, p411-444.
- (2) 西浦崇郎、兵頭信彦、吉田伸次、平間淳司、永瀬和彦:「豪雪地帯を高速走行する列車床下機器への着雪に関する研究、第 2 報」, J-RAIL2007, p437-440.