

鉄道車両台車部の着氷雪低減デフレクターの開発

宍戸 真也* 中出 孝次** 井門 敦志**
 飯倉 茂弘* 鎌田 慈* 遠藤 徹*
 根本 征樹*** 小杉 健二*** 佐藤 威***

Development of Deflector to Decrease Snow-Accretion to Truck of a Vehicle

Masaya SHISHIDO Kouji NAKADE Atsushi IDO
 Shigehiro IIKURA Yasushi KAMATA Toru ENDO
 Masaki NEMOTO Kenji KOSUGI Takeshi SATO

We devised a method to reduce snow accretion to a truck of train by modifying a part of the form of a vehicle. We installed a deflector that can reduce the amount of snow from the side of the train body into the truck. By wind tunnel tests and numerical simulation, we confirmed that the deflector could change the direction of the flow of air on the side of the train body. Further, by the wind tunnel test using snow particles, we found out that the deflector could decrease the flux of snow particle flowing into the truck.

キーワード：着氷雪，落水雪，デフレクター，空気流れ，バラスト飛散

1. はじめに

積雪のある軌道上を列車が走行すると、雪の舞い上がりの発生に伴い車両床下の機器や台車に雪が付着し成長することがある。このような着雪は、沿線気温の上昇や列車の振動等により軌道上に落下してバラストを飛散させ、沿線家屋の被害や車体破損をもたらすことがある。この現象は、東海道新幹線が開業して広く知られるようになった^{1)~3)}。近年、在来線においても営業速度が向上したことによって、この種の雪害が発生するようになった^{4)~5)}。このため、一部の在来線車両では、着雪防止対策として、床下機器や車両端部形状の平滑化および端部ふさぎ板への着雪ダミーの設置が行われている。しかし、台車は可動部であることや発熱部であることから、形状を変更することやカバーで覆うことなどによる対策が困難であるため、十分な対策がとられていない。

台車の着雪は、車両の下面もしくは側面から流入する雪粒子や車輪の巻き上げによる雪粒子で形成されていると考えられる。ここでは、空気の流れを変更することによって、台車の着雪の一因である側面から流入する雪粒子量を低減させる方法について検討した。空気の流れを

変更する方法として、パンタグラフの騒音対策等で用いられているパンタグラフカバーと同様な空気誘導板⁶⁾（以下、デフレクターと呼ぶ）を台車前後の床下機器カバー側面に取り付けて、空気の流れ方の変化を風洞試験および数値シミュレーションで調べた。さらに、降雪風洞試験を行い、デフレクターによる台車付近へ流入する雪粒子量の低減効果を評価した。

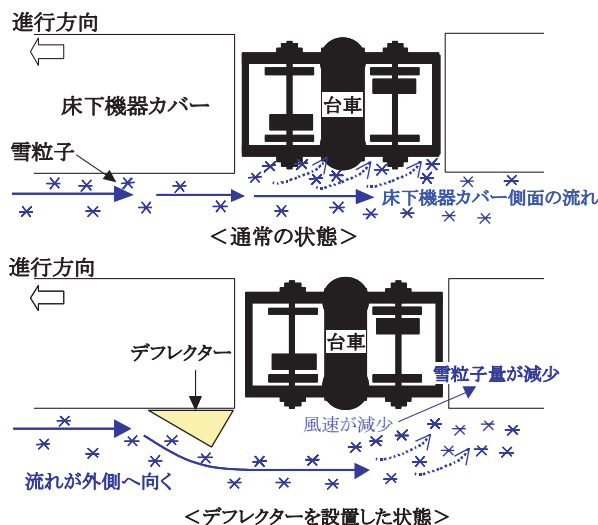


図1 デフレクターの効果のイメージ（平面図）

* 防災技術研究部（気象防災）
 ** 環境工学研究部（空気力学）
 *** 防災科学技術研究所

特集：防災技術

2. 風速に対する低減効果の確認試験

2.1 風洞試験概要

デフレクターを設置して車両が走行するときには、床下機器カバー側面の空気の流れは外側へ誘導され、台車付近の風速が減少することが考えられる(図1)。これを確認するために、風洞に車両模型(縮尺1/20)を設置し、車両長手方向に風を流して、所定位置の風速を測定した。試験時の風洞風速は10m/sに設定した。また、軌道上を車両が走行している状況を再現するために移動地面板を用いて試験を行った。

試験では、デフレクターが台車付近の風速に与える影響を調べるため、デフレクターを床下機器カバー側面に取り付けられた状態およびデフレクターを取り付けていない状態について、台車付近からy方向(車体から離れる方向)の風速分布を測定した(図2)。測定位置について、x方向(流れ方向)は台車の前輪軸(風上方)、台車中央、台車の後輪軸(風下方)の3ヶ所とし、z方向(高さ方向)はそれぞれデフレクターの中央位置とした。なお、車体側面の位置をy=0mmとした。試験では、長さが異なる

3種類のデフレクター(図2のV10, V50およびV100)を用い、デフレクターの形状が風速に与える影響を調べた。これらのデフレクターの幅はそれぞれ等しいため、長さが短いほど角度が大きくなる。

風速の評価は、風洞風速に対する各測定位置の風速の割合(無次元化風速)を用いて行った。無次元化風速を、以下、風速とする。デフレクターによる風速の低減効果を評価するために、デフレクターが無いときの風速とデフレクターが有るときの風速との差(低減量)をこの指標として用いた。

2.2 試験結果

風速の測定結果を図3に示す。デフレクターからの離隔距離と低減量との関係を調べるため、デフレクターV10およびV50について測定箇所毎のy=0mmの低減量を比較した。V10の低減量はデフレクターに近い方から、前輪軸では0.26、台車中央では0.21、後輪軸では0.11であった。また、V50の低減量はデフレクターに近い方から、前輪軸では0.08、台車中央では0.07、後輪軸では0.02であった。これらの結果、デフレクターに近いほど

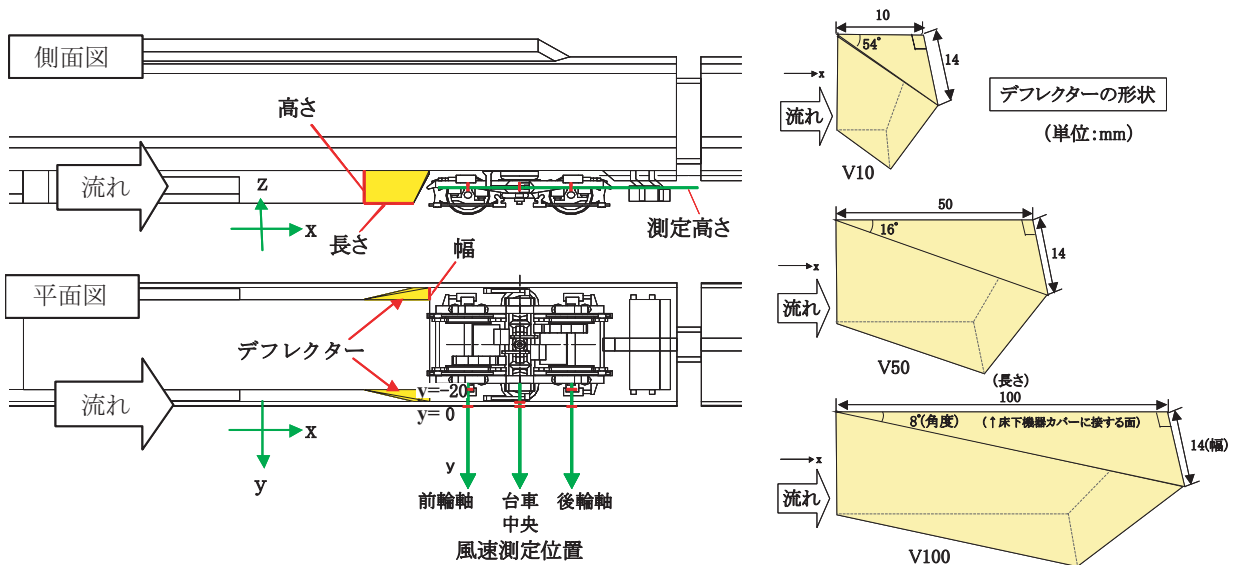


図2 風速測定位置と3種類(V10, V50, V100)のデフレクターの形状

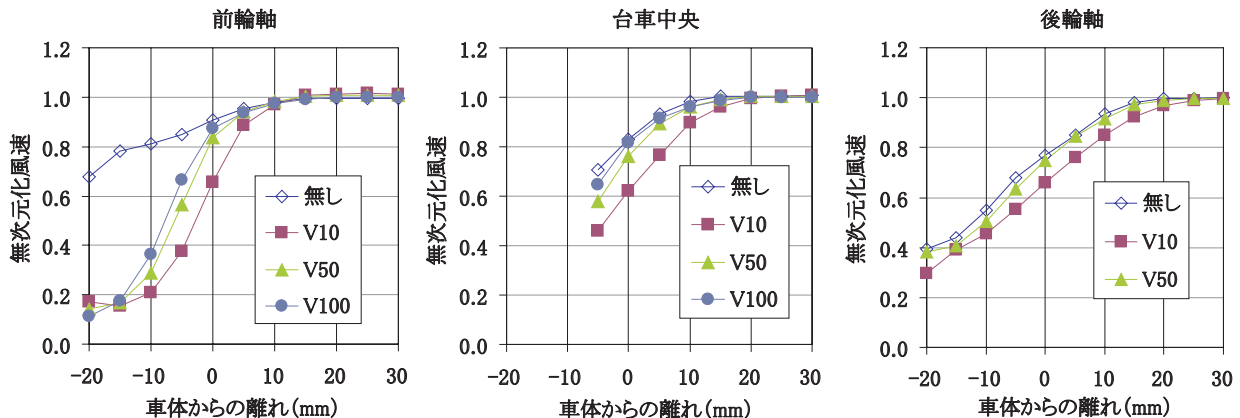


図3 台車の無次元化風速分布(風洞風速を1.0とすることにより無次元化)

風速の低減効果が大きいことがわかった。

次に、デフレクターの形状と低減量との関係を調べるため、デフレクター毎に台車中央の $y=0\text{mm}$ の低減量を比較した。低減量は、デフレクターV10が0.21、V50が0.07、V100が0.01であり、デフレクターの長さが短いほど風速の低減効果が大きくなった。

これらの結果、デフレクターにより台車付近の風速は減少し、この効果はデフレクターに近いほど大きいことがわかった。また、デフレクターの長さが短いほど、すなわち角度が大きいほど台車付近の風速を減少させる効果が大きいことがわかった。

3. 流れに対する効果を確認するための数値シミュレーション

3.1 数値シミュレーション概要

風洞試験の結果から、床下機器カバー側面の流れを変化させるためにはデフレクターが有効であることが確認できた。次に、デフレクターが空気の流れに影響を与える範囲を調べるため、数値シミュレーションを実施した。

シミュレーションでは風洞試験の模型と同じ形式の車両モデル（縮尺1/1）を用いた。なお、本計算ではデフレクターが空気の流れに与える効果を評価することを目的とするため、計算結果への影響が小さいと考えられる車体間の間隙は省略し、台車形状については簡略化した。計算時の車両の走行速度は40m/sとした。

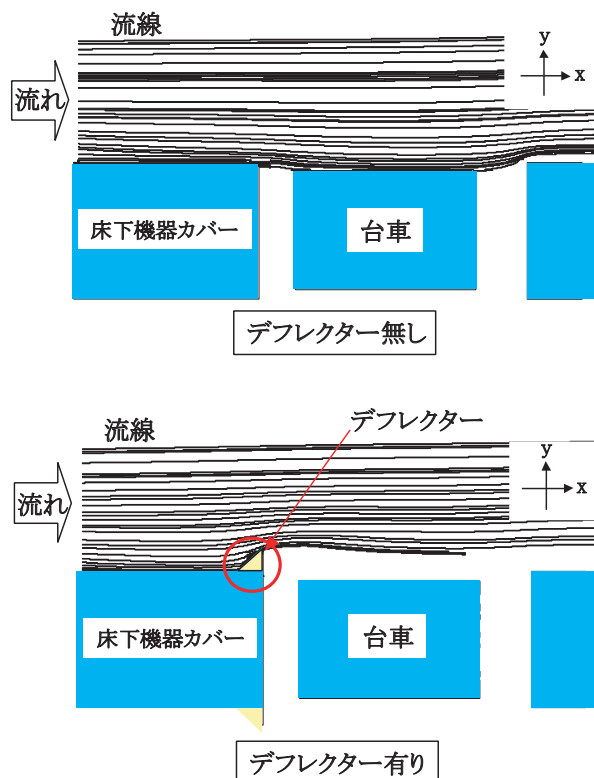


図4 台車の上流から台車付近に至る流線（平面図）

流体解析ソルバーは汎用流体解析ソフトウェアであるFLUENT⁷⁾を使用し、流れの基礎方程式は有限体積法により離散化したSIMPLE法を用いた⁸⁾。また、計算は定常計算とし、列車近傍の流速の時間変化率をもとに定常状態の収束判定を行った。

3.2 計算結果

台車付近の空気の流れに対するデフレクターの効果を調べるため、床下機器カバー側面の上流側を出発点とする複数の流線を求めた（図4）。流線は、デフレクターによりy方向（台車から離れる方向）に誘導され、台車より下流側でも台車から離れた位置にあった。

この結果より、床下機器カバー側面の空気の流れはデフレクターにより外向きに誘導され、この流れは台車から離れた位置を通過することが考えられる。

4. 雪粒子量に対する低減効果の確認試験

4.1 降雪風洞試験概要

風洞試験および数値シミュレーションの結果から、デフレクターを設置することにより、床下機器カバー側面の空気の流れは外側へ向かうことがわかった。次に、デフレクターが床下機器カバー側面を流れる雪粒子に対しても、空気の流れと同様の効果を与えることが出来るかどうかを確認するために降雪風洞試験を行った。

試験は、防災科学研究所雪氷防災研究センター新庄支所の降雪風洞において、風洞試験で用いた模型と同じ形式の車両模型（縮尺1/7）を用いて行った。試験では、舞い上がりが生じている状態を模擬するために、風洞内に車両模型を設置し、車両長手方向に風を流し、風上側から連続的に雪粒子を供給した。試験時の風速は10m/sとし、室温は -10°C とした。

4.2 雪粒子量に対する低減効果の評価方法

デフレクターによる台車付近の雪粒子量を低減させる効果を評価するために、デフレクターが有る状態と無い状態で、台車付近の飛雪フラックスを比較した。飛雪フラックスは飛雪粒子計（SPC）を用いて測定した。SPCとは、発光部と受光部の間を通過する飛雪粒子の大きさと個数から、飛雪フラックスを連続的に算出する計測装置である⁹⁾。

試験では、風洞内に供給される飛雪粒子量が雪試料の

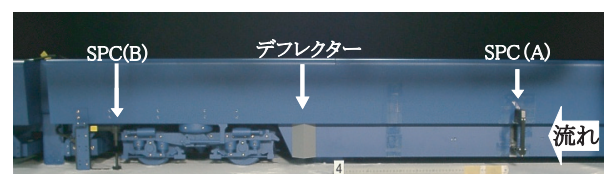


図5 降雪風洞内に設置された車両模型

特集：防災技術

雪質の違いにより異なる。このため、デフレクターの上流側に取り付けたSPC (A) を用いて供給される飛雪フラックスを測定し、下流側のSPC (B) を用いて台車付近に流入する飛雪フラックスを測定した (図5)。

低減効果の評価は、次の指標を用いて行った。まず基準として、デフレクター無しの状態における上流側の飛雪フラックス (f_A) に対する台車付近の飛雪フラックス (f_B) の割合 (f_B/f_A) を求めた。これに対して、デフレクターを設置したときの上流側の飛雪フラックス (f_A') に対する台車付近の飛雪フラックス (f_B') の割合 (f_B'/f_A') を求めた。そして、両者の比 [$(f_B'/f_A') / (f_B/f_A)$] (飛雪フラックスの比) をその指標とした。ここでは、この値が小さいほど効果が大きいことを意味する。

4.3 低減効果に及ぼすデフレクター形状の評価

風洞試験では、デフレクターの角度および幅が空気の流れに違いをもたらすことを確認した。そこで、デフレクターの角度および幅が台車付近へ流入する飛雪フラックスに与える影響を調べるため、複数の形状のデフレクターを用いて降雪風洞試験を行った。試験に用いたデフレクターを図6に示す。角度は30°、45°、60°の3種類、幅は38mm、20mmの2種類からなる合計6種類のデフレクター (A～F) とした。なお、幅38mmは車両限界で決定される最大限の幅である。

試験ではこれら6種類のデフレクターを、それぞれ床下機器カバー側面に取り付け、台車付近の飛雪フラックスを測定した。この測定位置は、x方向は台車中央から250mm下流側、y方向は車体側面から20mm外側、z方向は車体下面から82mm下側の位置とした (図7)。

試験結果を図8に示す。各デフレクターを設置したときの飛雪フラックスの比は0.51～0.80であった。この結果、全てのデフレクターで低減効果が認められた。また、幅が大きいデフレクター (A, B, C) の飛雪フラックスの比は0.51～0.54であったのに対して、幅が小さいデフレクター (D, E, F) の比は0.73～0.80であった。これにより、角度に関わらず幅が大きい方が低減効果が大きいことが分かった。次に、角度の影響について調べたところ、幅の大きいデフレクターの場合、飛雪フラックスの比は、A (角度30°) で0.54、B (角度45°) で0.52、C (角度60°) で0.51となった。この結果、角度は大きいほど低減効果が大きかった。

これらの結果、幅が大きく、また角度が大きいデフレクターほど台車付近へ流入する雪粒子量を低減させる効果が大きいことがわかった。

4.4 プロトタイプデフレクターの検討

風洞試験、数値シミュレーションおよび前述4.3節の降雪風洞試験の結果をもとに、低減効果が大きく、かつ

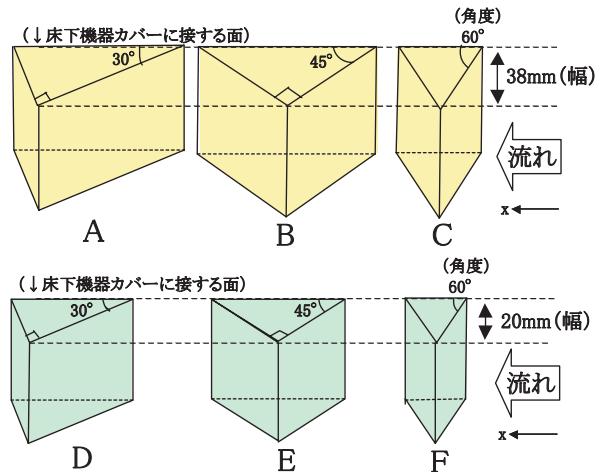


図6 デフレクターの形状

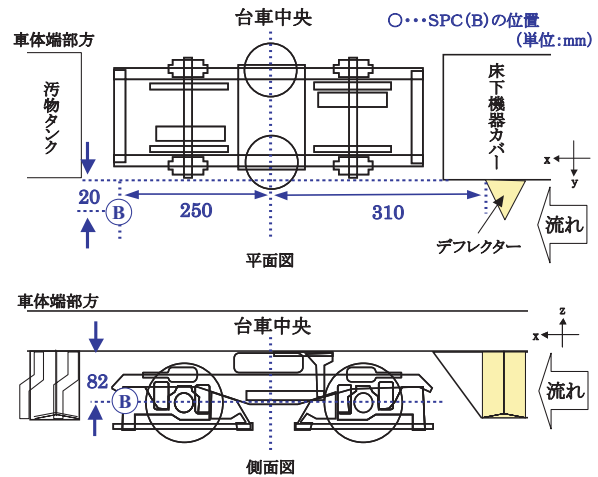


図7 飛雪フラックスの測定位置

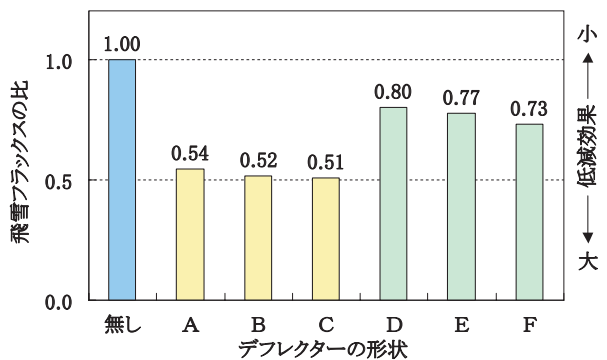


図8 飛雪フラックスの低減効果

実車に取り付け可能なデフレクター形状 (プロトタイプデフレクター) を検討した。

降雪風洞試験では、幅が大きいほど飛雪フラックスに対する低減効果が大きかったことから、幅は車両限界まで大きくした形状とした。角度については大きいほど空気の流れを外側に向ける効果が大きく、雪粒子量を低減させる効果も大きくなった。このことから、角度は大きいほど低減効果は大きいことが考えられるが、流れに向かう角度が大きい場合、雪粒子がデフレクターに衝突し

付着する可能性がある。そこで角度は、降雪風洞試験で用いた形状の中で最も低減効果が大きかった60°とした。また、車両限界は車両下部で狭くなっているため、デフレクター下部を切り取った形状とした(図9)。床下機器カバー側面に設置されるプロトタイプデフレクターの取り付け位置については、台車に近いほど効果が大きいことが推測されたため、可能な限り台車に近い位置とした。

プロトタイプデフレクターによる、台車付近の雪粒子量に対する低減効果を評価するため、4.1節と同様の降雪風洞試験を実施した。試験は、実際の車両では進行方向により車体の端部が下流になる場合と上流になる場合があることを考慮して行った。図10の上を示した車体端部が下流となる状況での試験を「順走行試験」とし、図10の下を示した車体端部が上流となる状況での試験を「逆走行試験」とした。SPC(B)の測定位置は、順走行試験では①～⑤とし(図10, 11)、逆走行試験では⑥, ⑧, ⑩とした(図10)。なお、測定位置①と⑥, ③と⑧, ⑤と⑩は、それぞれ上流側のデフレクターからの距離が等しい。

試験結果を図12に示す。順走行試験における各測定点の飛雪フラックスの比は、上流側から①が0.11, ②が0.15, ③が0.28, ④が0.67, ⑤が0.78であった。また、逆走行試験における比は上流側から⑥が0.08, ⑧が0.43, ⑩が0.92であり、順方向試験および逆走行試験ともに、全ての測点で低減効果が認められた。また、低減効果は上流側のデフレクターに近いほど大きくなった。順走行試験と逆走行試験について、上流側のデフレクターからの距離が等しい位置(①と⑥, ③と⑧, ⑤と⑩)について比較すると、それぞれの位置における低減効果は異なる値となった。これは、台車前後の床下機器カバーの形状が異なることや車体端部の影響が原因であると考えられる。

これらの結果、実車に取り付け可能なプロトタイプデフレクターにより、床下機器カバー側面から台車周辺へ流入する雪粒子量を減少できることがわかった。

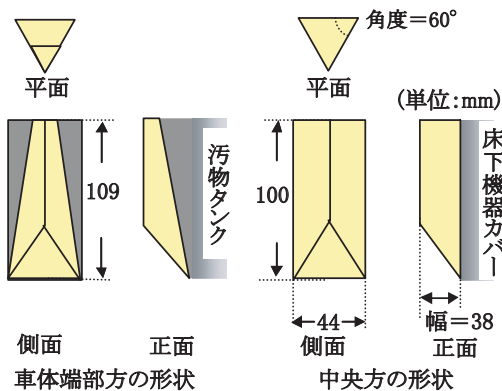


図9 プロトタイプデフレクターの形状

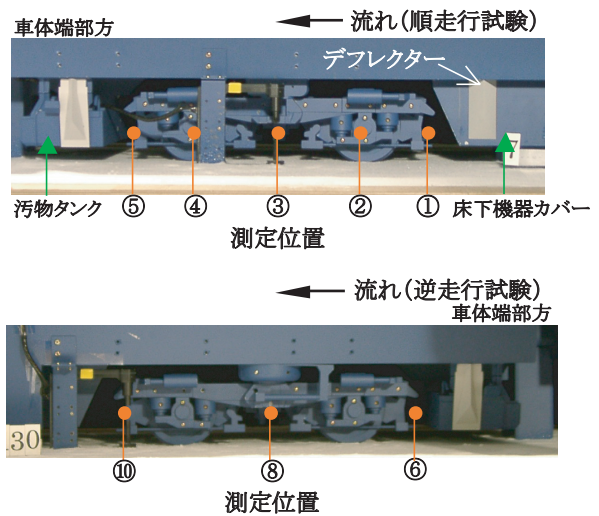


図10 降雪風洞試験の状況

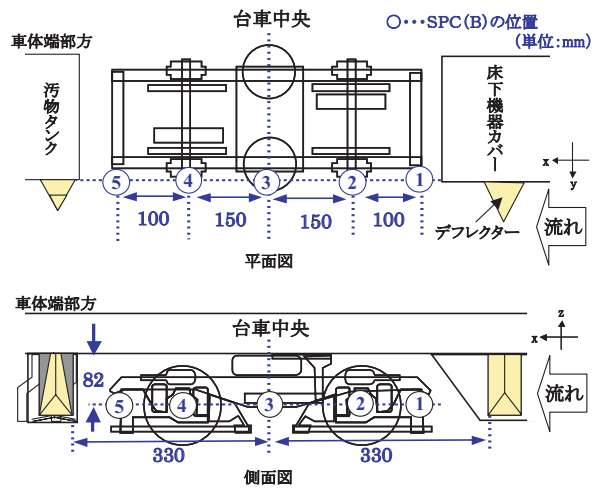


図11 飛雪フラックスの測定位置

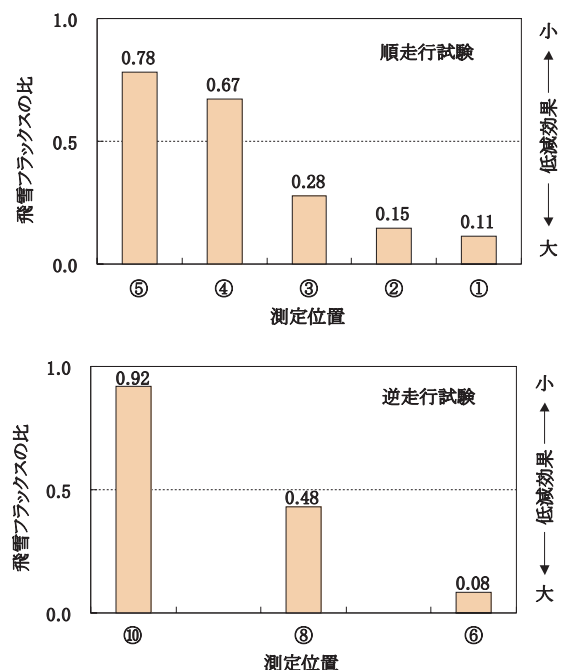


図12 プロトタイプのデフレクターの試験結果

特集：防災技術

5. まとめ

台車前後の床下機器カバー側面にデフレクターを取り付け、台車の着雪成長の一因である側面からの雪粒子の流入を抑制させて、台車の着雪量を低減させる対策について検討した。この方法について、風洞試験、数値シミュレーションおよび降雪風洞試験を行い、対策の有効性を評価した結果を以下にまとめる。

- ① 風洞試験の結果、デフレクターを取り付けることによって、台車付近の風速が低減した。また、デフレクターの角度が大きいほど、風速の低減効果が大きいことがわかった。
- ② 数値シミュレーションの結果、デフレクターにより床下機器カバー側面の空気の流れは外側へ誘導され、この流れは台車から離れた位置を通過していた。
- ③ 降雪風洞試験の結果、デフレクターの形状は、幅が大きいほど、また角度が大きいほど台車付近の雪粒子量に対する低減効果が大きいことがわかった。
- ④ 実際の鉄道車両に取り付け可能なプロトタイプデフレクター形状を考案し、降雪風洞試験によりこの有効性を評価した結果、床下機器カバー側面から台車周辺へ流入する雪粒子量を減少させることができることがわかった。

なお、本風洞試験に引き続き、実車を用いて着雪に対するデフレクターの効果の検証を試みたが、天候等の理由から検証できるデータを取得することができなかった。今後、実車による実用へ向けた検討を行うとともに、車体側面からのみならず、下面からの雪粒子の流入や車輪による巻き上げに対しても有効な対策を検討していきたい。

謝辞

本研究の実施にあたり貴重な意見、資料の提供についてご協力を頂いた北海道旅客鉄道株式会社運用部運用車両課の関係各位に深甚なる謝意を表す次第である。

文献

- 1) 斎藤雅男：東海道新幹線の雪氷害とその対策 (1) 雪氷害の特徴とその対策，日本雪氷学会誌「雪氷」，Vol.33，No.3，pp.61～78，1971
- 2) 荘田幹夫：東海道新幹線の雪氷害とその対策 (2) 飛雪防止の基礎的研究，雪氷，33(3)，pp.79～88，1971
- 3) 篠島健二：新幹線車両床下の着落雪の予測（東海道新幹線関ヶ原地区），鉄道技術研究報告，No.1248，1983
- 4) 山本哲也：JR西日本の雪害への取り組み，新線路，11，pp.36～37，2004
- 5) 板東茂巳：JR北海道におけるバラスト飛散対策の現状，新線路，11，pp.26～28，2004
- 6) 長倉清：新幹線鉄道の騒音問題，日本音響学会誌，60巻，5号，pp.284～289，2004
- 7) FLUENT6.1 User's Guide: Fluent Inc. Fluent Asia Pacific, February, 2003.
- 8) 水谷幸夫，香月正司：コンピュータによる熱移動と流れの数値解析，森北出版，1985
- 9) 佐藤篤司：吹雪計（SPC）における飛雪粒子の粒径効果に関する考察（第2報），防災科学技術研究所研究報告，第47号，1991