

空気誘導板を用いた鉄道車両台車部の着氷雪低減法の検討

環境工学研究部 空気力学
副主任研究員 中出 孝次

1. はじめに

冬期の鉄道車両の床下部で発生する着氷雪は落下時にバラスト飛散等の障害の原因となり得るため、その低減対策法の開発が必要とされている⁽¹⁾。鉄道車両の床下には機器箱と台車が存在する。機器箱については隣接する機器箱の間を覆ってその隙間を無くすことにより、着氷雪を軽減することが可能である。一方、台車については、このような平滑化による対策は困難であり、筆者らの知る限りにおいては現在有効な対策法が見出されていない。そこで、本研究では、デフレクター（空気誘導板）を用いた空気流れの変更による着氷雪量低減対策法の検討を行った。デフレクターによる対策法の基本となる考え方は次のとおりである。台車部における着氷雪量の増加を遅らせるためには、台車部への雪粒子の流入量を減少させることが有効だと考えられる。そのためには、台車付近の空気流れを変更すればよく、例えば、台車部の上流側にデフレクターを設置する方法が考えられる。

本報告では、まず、デフレクターによる台車付近の空気流れの変化を調べるための「風洞実験」・「流れの数値シミュレーション」・「現車試験」の結果を示し、次に、デフレクターによる台車部への雪粒子の流入量低減効果を調べるための低温風洞実験の結果を示し、最後に本研究の成果をまとめる。

2. デフレクターによる空気流れの変更

2.1 風洞実験

デフレクターによる空気流れの変化（風速低減効果）を調べるために実施した風洞実験について、方法および結果を以下に示す。

風洞は鉄道総研所有の小型低騒音風洞（開放型測定部）を用いた⁽²⁾。風洞ノズル出口断面の寸法は、幅 720mm×高さ 600mm である。車両床下の流れを再現するために、境界層吸込装置および移動地面板（幅 350mm×長さ 1075mm。移動速度=実験風速）を用いた。風速測定は、熱線風速計（ダンテック社製、プローブ:1 次元 55P11）を用いた。実験風速は 10m/s である。図 1 に模型設置状況および風速測定位置を示す。使用した車両模型は、床下機器が平滑化された在来線車両を想定して、中間車両と最後尾車両の 2 両編成である。中間車両の先頭には、先頭部ダミーを取り付けた。デフレクターの形状は、車両（床下機器）側面に沿った流れを外向きに変化させるものであるため、基本的には三角柱のブロックのような形状となる。実験では、車両限界に収まる最大突き出し幅をもち、突き出し角度が異なる 2 種類のデフレクター（V10、V50（図 1 参照））について調べた。風速測定位置は図 1 に示すように、上流側の輪軸（断面 I）および台車中心位置（断面 II）

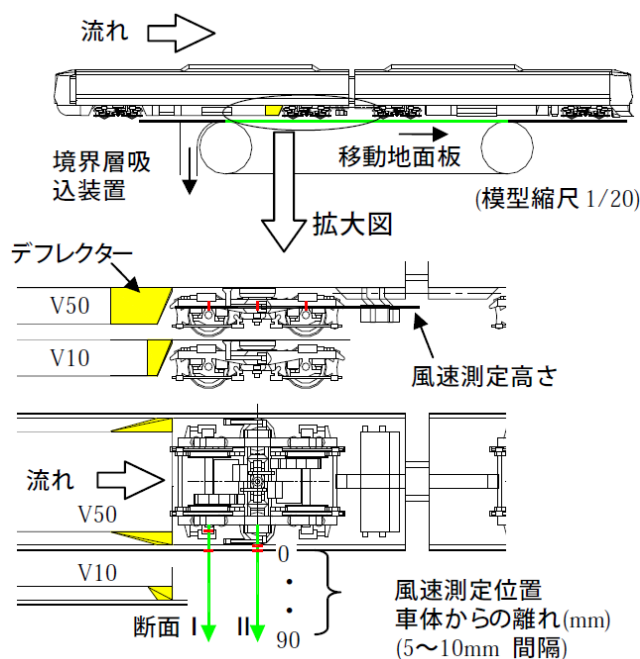


図 1 風洞実験模型および風速測定位置

を外向きに変化させるものであるため、基本的には三角柱のブロックのような形状となる。実験では、車両限界に収まる最大突き出し幅をもち、突き出し角度が異なる 2 種類のデフレクター（V10、V50（図 1 参照））について調べた。風速測定位置は図 1 に示すように、上流側の輪軸（断面 I）および台車中心位置（断面 II）

であり、測定高さはデフレクター高さの中央付近である。

図1に示す風速測定位置（断面Iおよび断面II）の平均風速分布を、デフレクター無し、デフレクターV10、デフレクターV50について図2に示す。グラフの横軸は車体からの離れを示しており、車体側面で0mmとなる。台車への着氷雪低減が目的であるため、ここでは車体に近い領域（グラフの横軸がマイナスの領域）に注目する。デフレクターの設置により、断面I・断面IIともに風速が低減していることが分かる。また、デフレクターV10とデフレクターV50の比較においては、V10の方が低減効果が大きいたことが分かる。つまり、デフレクターによる流れを外側に向ける角度が大きいほど低減効果は大きくなる。

なお、風速の乱れは、デフレクターを付けることにより、車体側面付近で大きくなった。

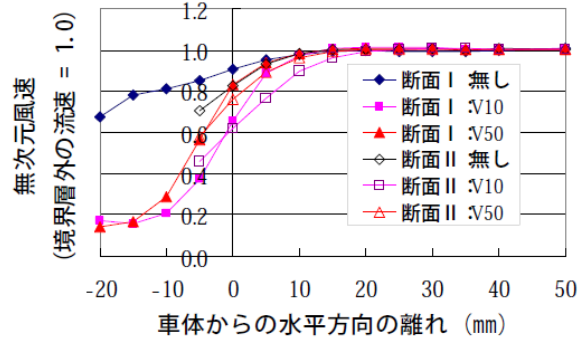


図2 風速測定結果（風洞実験）

2.2 流れの数値シミュレーション

風洞実験（2.1節）により確認できた風速低減効果について、風速の空間分布の知見を得るために、流れの数値シミュレーションを実施した。

計算モデルを図3に示す。これは、風洞実験の模型（図1）を単純化した形状である。計算格子は計算モデルの周りに3次元非構造格子を作成した。流体解析ソルバーは、汎用流体解析ソフトウェアであるFLUENT⁽³⁾、数値解析は流れの基礎方程式を有限体積法により離散化したSIMPLE法、乱流解析は定常流れ場が予測対象となるためk-ε乱流モデルを用いた。壁面境界条件は標準壁関数を、運動量方程式、乱流モデルの移流項の離散化はQUICK法を用いた。なお、列車速度は40m/sとした。

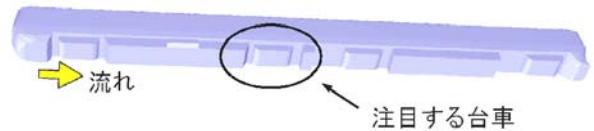


図3 計算モデル

デフレクター無しとデフレクターV10について平均風速分布のコンター図を示す（図4）。平面図および断面図において台車付近の広い範囲にわたってデフレクターによる風速低減効果が確認できる。本数値シミュレーションでは、風洞実験結果と定性的に矛盾のない結果（「デフレクター無し」・「V10」・「V50」の風速低減量の関係）が得られた。

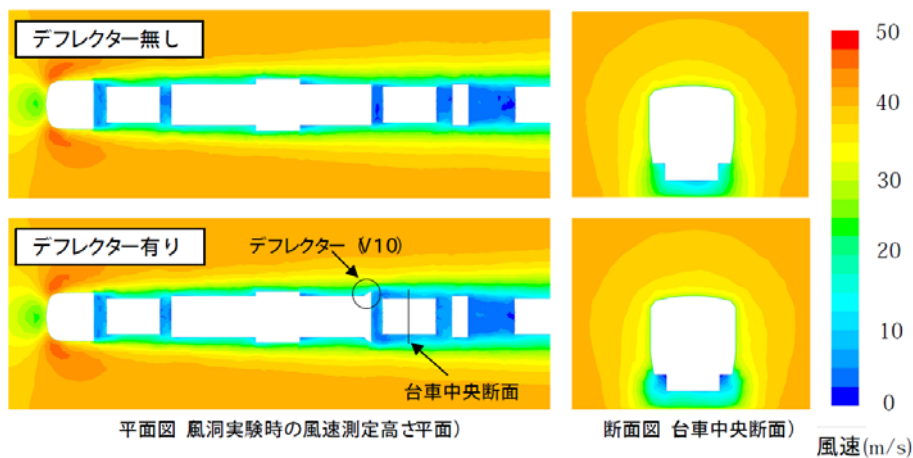


図4 風速のコンター（数値計算）

2.3 現車試験

風洞実験 (2.1 節) および数値シミュレーション (2.2 節) により、台車上流の車両床下機器箱に設置したデフレクターが機器箱側面の流れを機器箱近傍から外側へ押しやり、台車側面近傍の流速が低減することが分かった。本節では、風速低減効果を検証するために実施した現車試験について述べる。

試験車両は、風洞実験 (2.1 節) の模型と同様に、床下機器が平滑化された車両である。台车上流の片側のみにデフレクターを設置し、台車付近の両側の風速の測定値を比較することにより、デフレクターの効果の評価した。デフレクターの形状は、風洞実験 (2.1 節) における「V10」である。風速測定は熱線風速計 (カノマックス社製アネモマスター) を用いた。デフレクターおよび風速計の設置状況を図 5 に示す。風速計はヨーダンパー受けに設置した。



図 5 現車試験の状況

風速測定の実データ解析は、時系列波形において列車速度が概ね一定の区間を複数抽出し、それぞれの区間における列車速度および風速測定値の時間平均値を算出して整理した。解析結果を図 6 に示す。横軸は列車速度、縦軸は列車速度で無次元化した風速測定値を示している。

「デフレクター有り」は「デフレクター無し」に比較して、風速が半分程度に減少していることが分かる。つまり、デフレクターの設置により、台車側面の風速が低減することが確認できた。

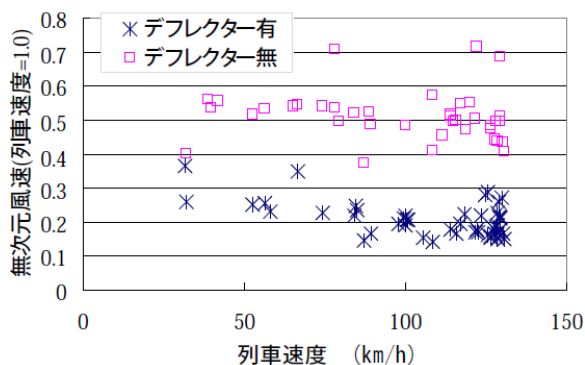


図 6 デフレクター有無の台車周辺の風速

3. デフレクターによる雪粒子数の低減

前節までに述べたように、デフレクターを用いることによって、平均風速の低減が可能であることが分かった。しかし、速度場と雪粒子との関係については明らかではない。つまり、雪粒子が速度場にどの程度追従するかを調べる必要がある。さらに、デフレクター設置によって速度場の乱れ度が大きくなるが、これが雪粒子の台車方向への巻き込み量を増大させるのかどうかを調べる必要がある。そこで、デフレクターによる雪粒子数の低減効果を検証するために低温風洞を用いた実験を実施した。

低温風洞実験は、防災科研雪氷防災研究センター新庄支所の低温風洞⁽⁴⁾を用い、台車部周辺における雪粒子の空間密度の低減効果の評価した。車両模型は、2.1 節と同様の車両 (ただし縮尺は 1/7) を用いた。設定室温は -10°C 、設定風速は 10m/s とした。雪粒子の測定は 2 台の SPC (Snow Particle Counter, 飛雪粒子計, 新潟電機製) を用いた。SPC は、雪粒子を球形と仮定し、粒子による光の減衰量を粒子ひとつひとつについて測定し、粒径別の個数をカウントする測定器である。低温風洞実験では、この SPC をデフレクターの上流側および下流側 (台車部) に設置した (図 7)。上流側の SPC は供給される雪粒子フラックスを測定するものであり (上流側 SPC)、台車部の SPC は台車部周辺に流入する雪粒子フラックスを測定するものである (台車部 SPC. 位置は台車の上流端から下流端間で変更。

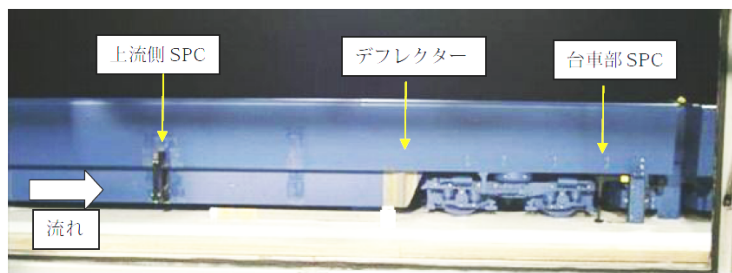


図 7 模型・デフレクター・測定器(SPC)の設置状況

本節で示す結果の位置は「車体中心高さ・車体側面はなれ・台車下流端」。ここで「雪粒子フラックス」とは、単位時間に単位面積を流れる雪粒子の体積のことである。実験で供給される雪粒子フラックスは試験毎に異なる。そこで、評価方法としては、上流側 SPC に対する台車部 SPC の雪粒子フラックスの値の比を、デフレクターの有無について調べた。また、雪粒子フラックスの算出で対象とする雪粒子の直径は 0.1mm 以下とした。これは、現車試験で得られた雪粒子の粒径分布を参考に決定した。

2 章で調べたデフレクター形状 (V10) および正三角柱のデフレクター (大・小) についての結果を以下に示す。なお、正三角柱 (大) の突き出し幅は「V10」と同様の車両限界であり、(小) はその半分である。上記の評価方法にしたがって、デフレクター無しを 1 としたときのデフレクター有りの評価値を図 8 にまとめる。デフレクターを設置することによって、台車近傍の雪粒子フラックスが減少することが分かる。また、正三角柱 (大・小) の比較により、デフレクターの突き出し幅が大きいほど雪粒子フラックスが減少することが分かる。図 8 の結果における台車部 SPC の測定位置は、台車の最下流端付近である。これは、最もデフレクターの効果が弱くなる位置での値であり、台車の中間付近および上流付近のデフレクターに近いところでは、雪粒子フラックス低減効果はより大きくなる。つまり、デフレクターによる雪粒子数の低減効果は台車部付近の広範囲にわたっていることが確認できた。

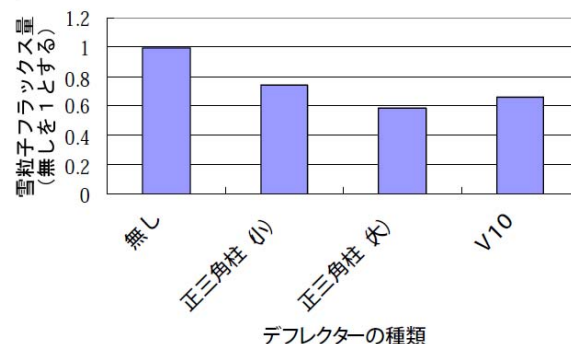


図 8 飛雪粒子の低減効果

4. おわりに

本研究で検討した結果を以下にまとめる。

- 台車付近の着氷雪量低減対策法として、デフレクターを用いて流れ場を変更する方法を考案した。
- デフレクターによる台車付近の風速低減効果を風洞実験・流れの数値シミュレーション・現車試験により確認した。
- デフレクターによる台車付近への雪粒子数の低減効果を低温風洞実験により確認した。

本研究において、着氷雪量の低減対策法としてのデフレクターは、台車付近の風速を低減し、さらには台車部への雪粒子の流入量を減少させることが明らかになった。つまり、着氷雪量の低減対策としてデフレクター設置は有効な対策法になることが期待できる。現時点において、デフレクターによる台車部への雪粒子の流入量の減少がどの程度着氷雪量の低減に有効となるかは不明である。これは、実験的および数値解析的に予測することが困難な課題であり、今後、デフレクターの着氷雪量低減効果を検証するための現車試験を実施する予定である。

最後に、本研究の現車試験を行うにあたってご協力下さった北海道旅客鉄道株式会社殿、低温風洞実験を行うにあたってご協力下さった防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター (新庄支所) 殿に御礼申し上げます。

参考文献

1. 飯倉茂弘, 河島克久, 遠藤徹, 藤井俊茂, 「列車からの落水雪によるバラスト飛散現象の解明」, RRR, 2 月号, pp. 26-29 (2005).
2. 前田達夫, 近藤善彦, 「環境工学に関する大型実験設備」, RRR, 7 月号, pp. 18-25 (2004).
3. FLUENT 6.1 User' s Guide, Fluent Inc./Fluent Asia Pacific, February 2003.
4. 佐藤威, 小杉健二, 佐藤篤司, 雪粒子を用いた風洞実験による吹雪の研究, 寒地技術論文・報告集 15, pp. 50-54 (1999).