

# 車両床下の空気の流れを探る

井門 敦志

環境工学研究部(空気力学 主任研究員)



いど あつし

## はじめに

通常、私たちは、空気の流れを「風」として感じとることができます。鉄道車両は、自然風が吹いていなければ静止した空気中を走行しますが、走行することにより空気の流れができます。観測者は、この空気の流れを風として感じますが、観測者がいる場所により流れの向きと大きさが異なります(図1)。車両周りの空気の流れを探る場合には、目的に応じて車上側あるいは地上側から測定されることになり、どちら側での測定であるかに注意が必要です。

車両周りの空気の流れのなかで、特に、車両床下の空気の流れは、鉄道の安全問題、エネルギー問題、環境問題に密接に関連しています。具体的には、バラスト飛散の防止、車両床下への着雪の抑制、車両の空気抵抗の低減等の課題があります。これらの課題のためには、車両床下の空気の流れの解明が必要です。ここでは、現車試験(実際に走行する車両を用いた試験)および風洞実験による車両床下の空気の流れの研究について紹介します。

## バラスト表面の空気の流れ

列車が通過する際に、車両床下に誘起される空気の流れは、地上側から見ると列車進行方向の空気の流れになり

ます。車両床下の空気の流れは、バラスト表面の風であり、その風が強くなりすぎるとバラストが転がる場合があります。バラストが転がり、他のバラスト等につぶれ跳ね上がったバラストが列車にあたることによりバラストが飛散すると考えられています。これは安全に関わる問題で、この課題の研究のためには、車両床下の空気の流れを地上側から探る必要があります。

車両の部位は、先頭・後尾部と中間部に大別されます。車両床下に注目すると、局所的に、台車、床下機器、車間というように形状が異なります。さらに床下形状は、車両形式によっても異なります。そこで、列車通過時に、車両の部位や床下形状がバラスト表面に及ぼす影響を明らかにするために、現車試験において地上側で空気の流れの測定を行いました。

まず、バラスト表面に設置した風速計を用いて列車通過時の風速を測定しました(図2)。複数の列車の測定結果の平均値として列車が通過した時の風速の時間変化を図2(a)に示します。バラスト表面の風速は、先頭部で小さく、中間部でほぼ一定となり、列車通過後に大きくなるのがわかりました。また、台車や床下機器というような局所的な床下形状の影響が顕著に現れることがわかりました。

次に、車両形式による違いを調べるために、バラスト表面に、高さ方向の風速分布を測定する櫛形のピトー管(ピトー管：圧力計と組み合わせて風速を測定する機器)を設置し、バラスト表面から高さ方向の風速分布を測定しました。測定結果を図2(b)に示します。ここでの風速は、中間部が通過している間測定された風速の時間平均値で

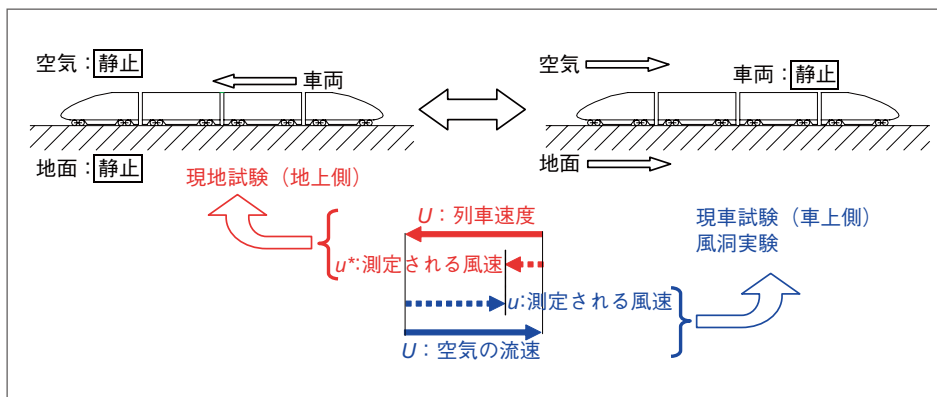


図1 地上側・車上側測定および風洞実験の考え方

す。バラスト表面から離れるほど、車両の影響を受けて風速が速くなるのがわかります。また、車両の形式により車両床下の風速が異なることもわかります。形式1、形式2ともに床下は平滑化されていますが、形式2のほうが、より床下の平滑化が進んだ車両です。このことから、車両の床下を平滑化することによりバラスト表面の風速を抑制できることが確認できます。

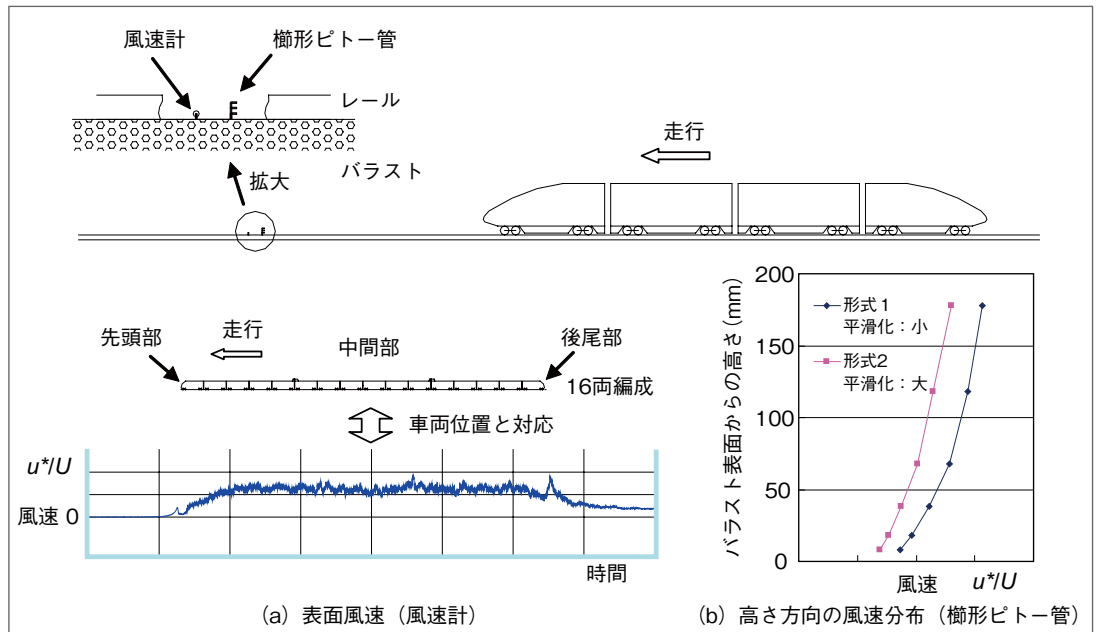


図2 バラスト表面風速測定(現地測定：地上側) ( $u^*/U$ ：列車速度で無次元化した風速)

### 雪を舞い上げる空気の流れ

積雪時に列車が走行中すると、地表面の雪が舞い上がり車両床下や台車に着雪します。着雪により列車が走行できなくなるようなことはないのですが、列車に着いた雪が走行中に落下すると、落下した雪や氷の塊は、列車と同じ速度でバラストにぶつかりバラストを飛散させることがあります。そこで、車両床下の空気の流れを制御することによる着雪抑制対策方法の研究を行いました。ここでは、車両床下のなかで、特に着雪の多い台車を対象としました。

列車の走行より舞い上がる雪は、おおよそは、空気の流れによって移動しているはずですが、したがって、台車部へ入る流れを外向き(車両から離れる向き)に変えることができれば、台車への着雪が抑制できると考えられます。そこで、台車前後の床下機器の側部にデフレクターを取り付け、空気の流れの向きを外向きへ変える対策方法を考案しました。その効果を、風洞実験で空気の流れを調べることにより確認しました。風洞実験とは、車両を固定し空気を流すことにより、走行している車両周りの流れの状態を再現するための実験装置で、地面付近を走行する車両の場合には、地面も空気と同じ速度で移動させなければなりません(図1)。風洞実験の様子を図3に示します。実験風速および移動地面板の移動速度は10m/sです。風速計を用いて、台車付近の風速を測定しました。風洞実験結果(図4)から、デフレクターにより、台車に近い部分(車体からの離れがマイナス)で風速が低減しており、デフレクターにより台車への流れが抑制されていることがわかりました。

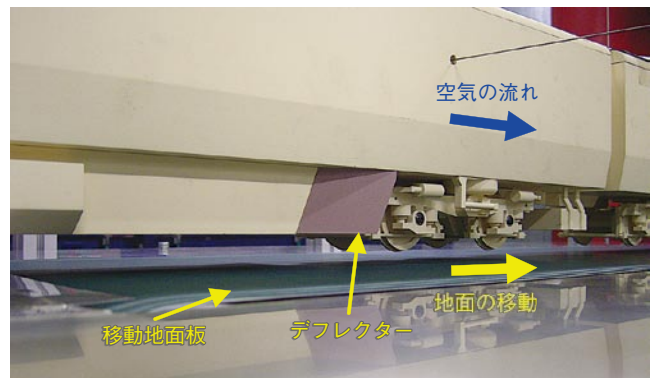


図3 風速測定によるデフレクター効果の評価(風洞実験)

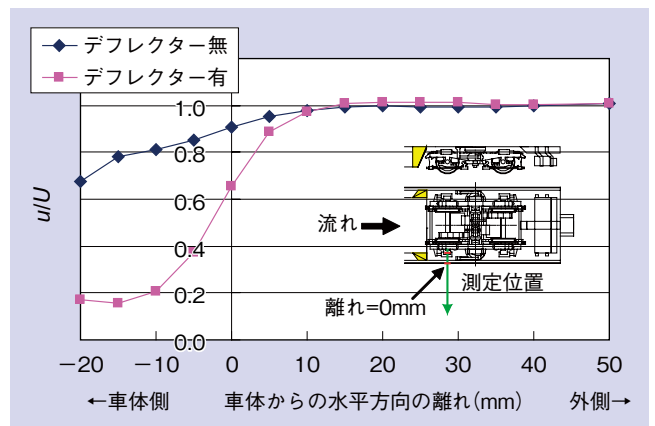


図4 風洞実験による風速測定結果(風洞実験) ( $u/U$ ：実験風速で無次元化した風速)

空気の流れについては、デフレクターの効果を確認できましたので、次に、雪粒子に対して効果があるかどうかを、実際の雪を用いることのできる風洞設備((独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センター所有)での風洞実験に

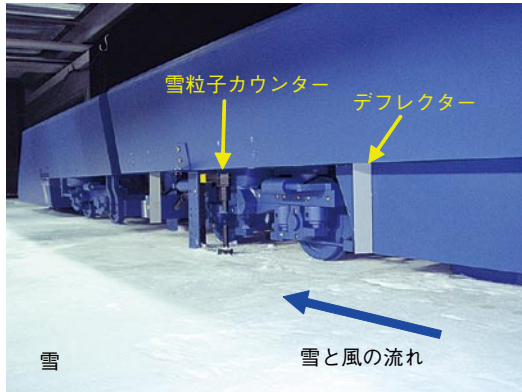


図5 雪粒子量測定によるデフレクター効果の評価 (風洞実験)

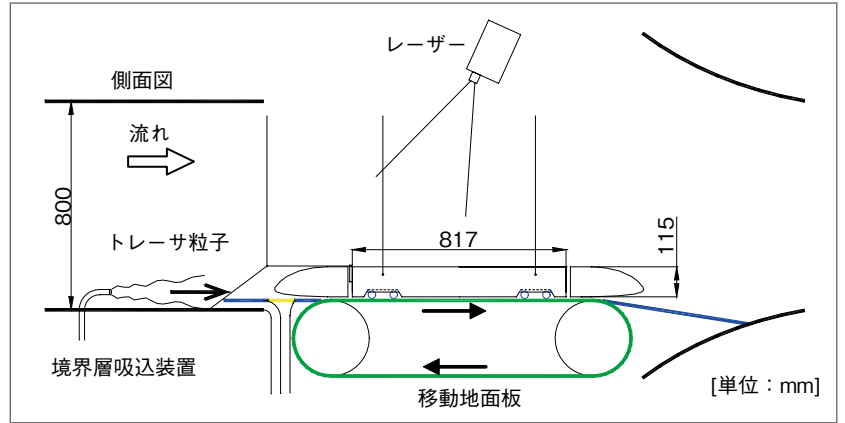


図7 PIV測定の様子(風洞実験)

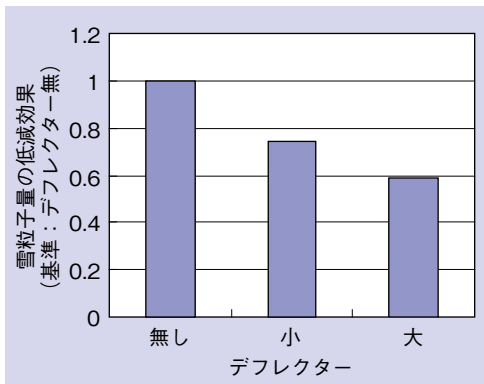


図6 雪粒子量測定結果(風洞実験)

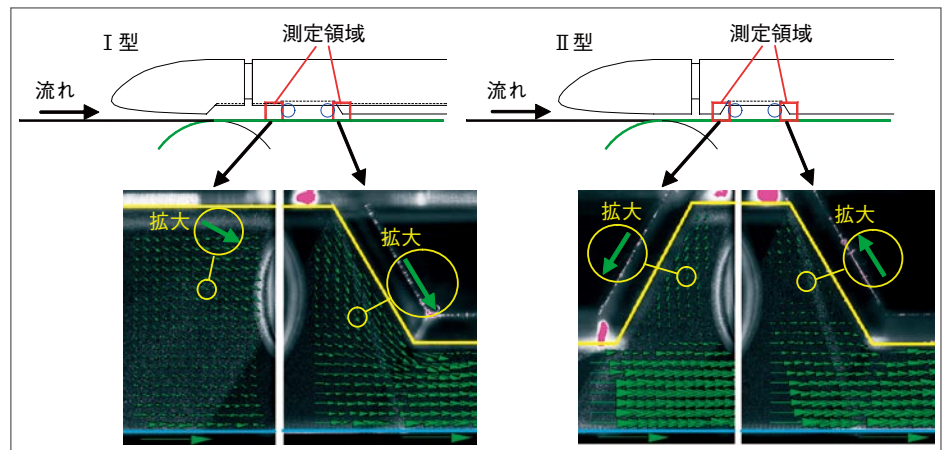


図8 台車部の流れ場(PIV測定結果)

より確かめました。この風洞は、 $-10^{\circ}\text{C}$ に設定された低温室内にあります。風洞実験の様子を図5に示します。実験風速は $10\text{m/s}$ です。風洞床面に雪を敷き詰め、その上に車両を設置します。風洞の上流から雪粒子を流すことにより、車両の周りを流れる雪の状態を再現します。台車付近の雪の状態の測定には、雪粒子カウンターという計測機器を用いました。この機器は、ある時間内にセンサー部を通過する雪粒子の大きさと個数を測定することができます。雪粒子カウンターの取り付け位置を変更しながら、デフレクターの有無や台車の上流に取り付けたデフレクター形状の効果を評価しました。測定結果の一例を図6に示します。その結果、デフレクターを取り付けることにより、着雪の原因となる台車部へ流れ込む雪粒子量を低減できること、また、デフレクターを大きくすることにより、より大きな低減効果が表れることを確認しました。

### 空気抵抗の低減に関わる空気の流れ

地球環境問題と相まって、車両の空気抵抗低減は、社会的関心の高いエネルギー問題に直結する課題です。空気抵抗を低減させるために、鉄道車両を新製もしくは改良する

場合には、製作コストやメンテナンスコストを含めた費用対効果を十分に考慮しなければなりません。そのため、空気抵抗低減の研究では、空気抵抗低減策および精度の良い低減効果の評価が重要となります。

鉄道車両の床下は、屋根上や側面と比較して、台車や床下機器で凸凹しており、しかも、列車が細長く床下の空気抵抗が全体の空気抵抗に占める割合が大きいため、床下形状の改良により大きな空気抵抗の低減が期待されます。効果的な空気抵抗低減対策のためには、車両床下の空気の流れを知る必要があります。また、細長い鉄道車両の空気抵抗の低減効果を精度良く評価するためにも、車両床下の空気の流れの解明が必要となります。以下に、車両床下の空気の流れの解明が、空気抵抗低減の研究にどのような形で反映されているかを紹介します。

#### (1) 空気抵抗の低減策(台車部の空気の流れ)

新幹線のような比較的床下の平滑化の進んだ形状では、台車や台車部(台車を格納している凹み)の空気抵抗の低減が重要となります。台車部のような凹みのある形状は一般的にキャビティと呼ばれ、長さや深さの比が大きくなると流れが凹みの中に入りこむことが知られています。流れ

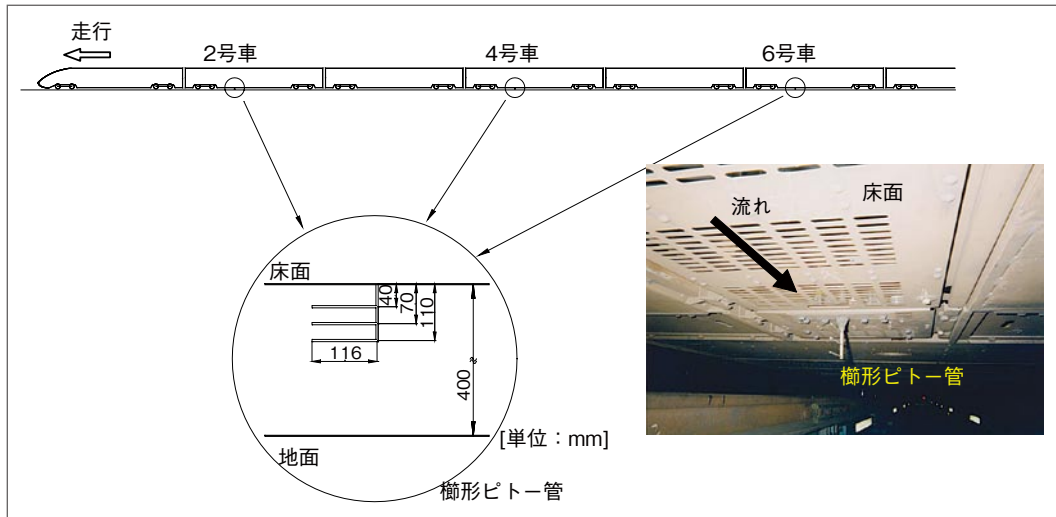


図9 車両床下風速測定(現車試験)

が台車部の中に入り込むと、流れが台車等にあたり大きな空気抵抗の要因となります。そこで、風洞実験により、台車部の形状が床下の空気の流れに与える影響を探りました。

ここでは、PIV(粒子画像流速測定法)を用いました。この方法は、画像処理の技術を用いた最新の計測方法で、一度の測定で測定面内の速度ベクトル全体を測定することができます。図7に実験の模式図を示します。実験風速は10m/sです。台車部の流れ場は時間により変化しますので、ここでは、連続して50回の測定を行い、平均した結果を図8に示します。I型では、上流側、下流側ともに、概ね上流から下流への流れになっており、床下の速い流れが台車部に流れ込んでいることがわかります。一方、II型では、上流側、下流側ともに逆流している流れが見られます。これは、台車部内で流れが循環しているためで、床下の速い流れが台車部に流れ込んでいないことがわかります。すなわち、台車部の空気の流れを探ることにより、台車部の深さと長さの比が小さいII型では、台車部の空気抵抗が小さくなることがわかりました。

## (2) 空気抵抗の評価(現車の床下の空気の流れ)

鉄道車両は非常に細長いために、風洞実験において、直接編成全体の空気抵抗を測定することは困難です。そこで、何らかの工夫が必要となってきます。鉄道車両の中間車両は同じ形状ですので、そこに注目します。

中間車両の空気抵抗が編成内の位置に依らず同じであれば、風洞実験で中間車両1両の空気抵抗を評価し、それを両数倍することにより、編成全体の空気抵抗を評価することができます。では、中間車両の空気抵抗は全て同じなのでしょう。その問題の解決のために、現車試験において車両の床下の風速分布を測定しました。測定には、楕形ピトー管を用いました。測定の様子を図9に、測定結果を

図10に示します。現車試験結果から、2, 4, 6号車で、車両床下の空気の流れは、編成内の位置による差がなく同じ流れになっています。このことから、車両床下部の空気抵抗は車両位置によらず一定であり、中間車両1両分の床下の空気抵抗が評価できれば、編成全体の床下部の空気抵抗が評価できると考えられます。現実には、床下部の空気抵抗だけを評価することは困難ですが、床下部を改良した場合の空気抵抗低減効果であれば評価できます。現車の床下の空気の流れを探ることにより、床下部を改良した場合の編成全体の空気抵抗低減効果を、風洞実験を用いて評価することが可能であることがわかりました。

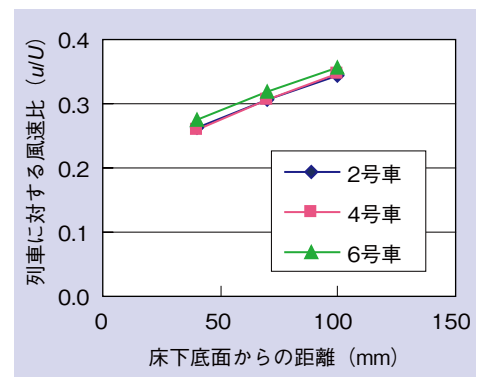


図10 現車の床下風速測定結果(現車試験：車上側)

## おわりに

鉄道車両は、地面付近を高速で走行するために、車両床下の空気の流れは、車両側および地面側に影響を与え、様々な問題に関連しています。研究の目的に応じた種々な測定により車両床下の空気の流れを明らかにしてきましたが、これからも、列車の高速化とともに車両床下の空気の流れの解明の重要度が増してゆくものと思われます。今後も、目的にあったより精度の高い研究を進めていきたいと考えています。RRR