

車両模型走行装置による車両床下流れの解明

○ [機] 井門 敦志 (鉄道総合技術研究所) [機] 吉岡 修哉 (立命館大学)

A study on under floor flow using a model running facility

○Atsushi Ido, (Railway Technical Research Institute)

Shuya Yoshioka, (Ritsumeikan University)

Between the under-floor of a railway car and a track, there is a complex air flow caused by their interaction. We developed a model running facility to study the flow of the under floor of railway car because the flow is a main cause of ballast flying phenomena, snow accretion, aerodynamic drag, aerodynamic noise and so on. We measured the velocity of the flow near the ground by means of comb stagnation tubes installed on the car model. We confirmed that the flow measured by the facility on the whole agreed with the flow measured by the on-track tests, and clarified that the velocity distribution around the railway car.

キーワード：車両床下流れ，模型走行試験

Key Words：Under floor flow, Model running facility

1. はじめに

車両の床下と軌道との間の流れ場は、両者の相互作用により複雑な流れが形成されている。この車両床下の空気の流れは、バラスト飛散、車両下部への着雪、空気抵抗、空力騒音等の主な原因であり、車両により誘起される流れに起因するこれらの問題の解決のためには、車両床下の流れを解明する必要がある。これまで、現車試験、風洞実験、数値シミュレーション等により車両床下流れの研究が行われてきたが、各々の問題に対する対策的な研究開発が主であったために、車両床下流れ自体の解明については十分には行われてこなかった。しかしながら、車両床下流れが原因となる諸問題の効果的な解決（緩和や低減）には、車両床下流れを明らかにする必要がある。本報告では模型走行

試験より車両床下の空気の流れの解明を行った結果について報告する。

2. 模型走行試験概要

2.1 模型走行装置の構成

模型走行装置の全体構成を図1に、走行の様子を図2に示す。装置は、車両を取り囲むような枠組みに車輪および案内輪を取り付けた門型台車、その後方の平らな台車（平台車）、連結バー、自動車で構成される。車両模型は、模型の両端から伸ばしたワイヤロープにより、門型台車、平台車に連結される。自動車が走行すると車両模型は台車からの牽引ロープで牽引され、停止すると車両模型は平台車からのブレーキロープに引っ張られ停止する。

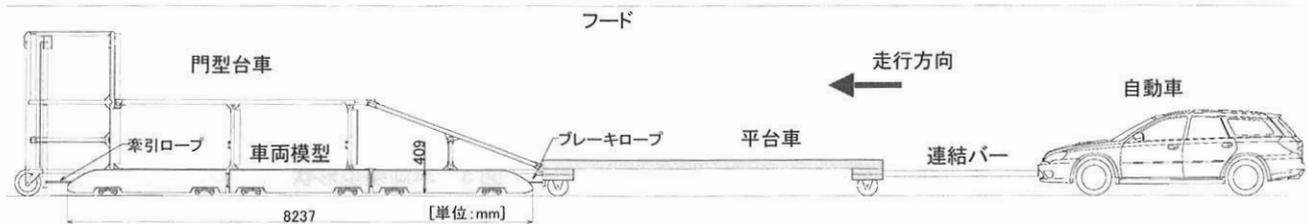


図1 模型走行装置の全体構成



図2 模型走行の様子

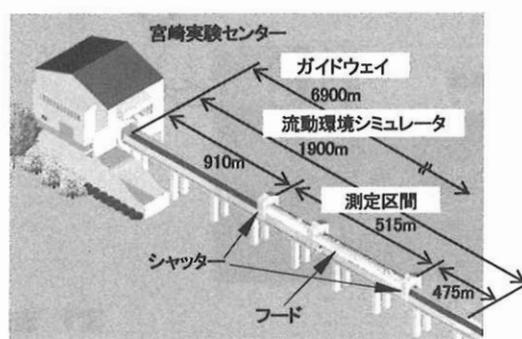


図3 流動環境シミュレータ

門型台車走行時には地面の凹凸により門型台車が振動するが、車両模型との接続にワイヤロープを用いることにより、車両模型は門型台車の振動の影響を受けにくく、車両模型はレールの上をスムーズに走行することができる。なお、図 1 では 3 両編成であるが、門型台車を延ばして 5 両編成の試験も実施した。

模型走行装置により車両床下の流れを評価するためには、自然風のような外乱の影響を排除することが必要であるので、走行装置を屋内へ設置することが望ましい。一方で、模型走行のためには十分な長さ、模型の閉塞率緩和のためには十分な断面積が必要である。そこで、東北大学が鉄道総研の宮崎実験線のガイドウェイを利用して作った流動環境シミュレータ²⁾に模型走行装置を設置した。流動環境シミュレータの測定区間はフードで覆われている(図 3)。測定区間の入り口と出口にはシャッターが設けられており、シャッターを閉じれば、密閉された屋内空間(長さ 515m, 幅 3.46m, 高さ 3.325m)を確保することができる。この測定区間に模型走行装置を設置して模型走行試験を行った。

2.2 軌道条件

模型走行装置の軌道の仮設には、在来線軌道の 50kg レールを 1/8.4 に縮小したレールとマクラギを一体化した市販品の軌きょうを用いた。軌きょうと軌きょうをジョイント用のジグで接続して延長し模型走行装置の軌道を作製した。

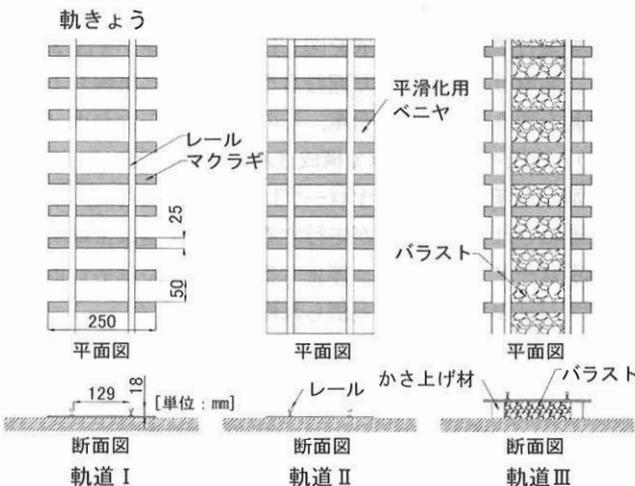


図 4 走行装置用軌道

た。さらに、軌道条件が車両床下の流れに及ぼす影響を評価するため、以下の条件の軌道を製作した(図 4)。

軌道Ⅰ：軌きょうそのまま、マクラギによる凹凸がある軌道

軌道Ⅱ：軌きょうのマクラギとマクラギの間をベニヤ板で埋めて平滑化しスラブ軌道を模擬した軌道

軌道Ⅲ：軌きょうを角材でかさ上げし、その内側にバラスト(直径 5~10mm の砕石)を充填しバラスト軌道を模擬した軌道(バラスト状態の再現は軌間内)

2.3 車両模型

図 5 に車両模型を示す。車両幅および長さは在来線車両を参考にしている。走行に用いた車両模型は、木製の車体に走行可能な市販の台車(縮尺 1/8.4)を取り付けて製作した。車両は、車体、台車、床下機器により構成される。床下部は、ボルトで車体に床下面に取り付けられている。台車については、購入した走行用の台車に台枠、モーター等のダミー部材を取り付け、極力、現実に近い台車形状へ改良した。流動環境シミュレータの断面に対する車両模型断面の閉塞率は 1.3% である。また、車両の床下形状を Type1~Type4 まで変更することが可能である。

Type1：台形床下

Type2：ボディマウント+ハーフスカート

Type3：ボディマウント+フルスカート

Type4：ボディマウント(端部無し)

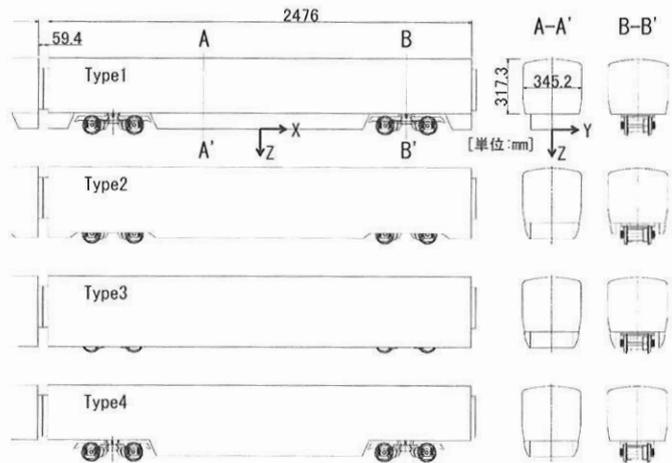


図 5 車両模型形状

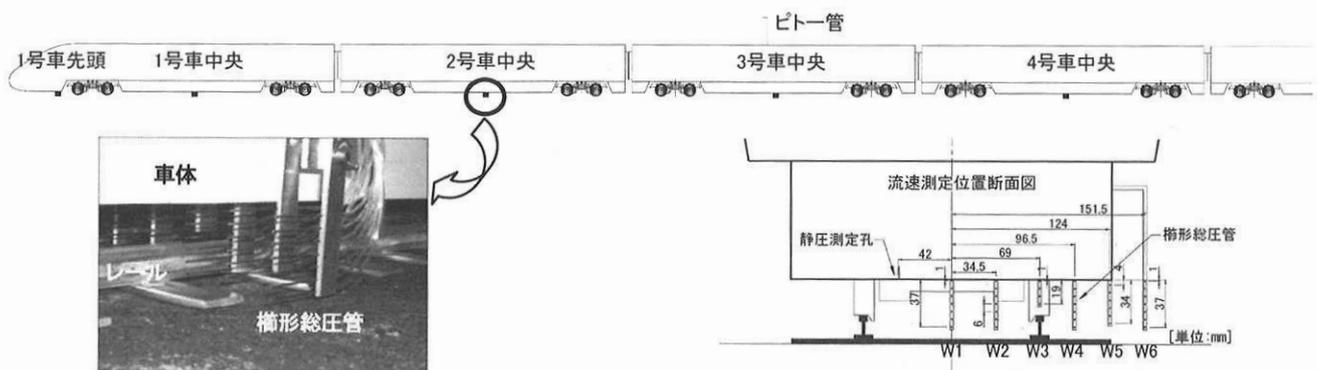


図 6 流速分布測定位置

2.4 試験概要

図 6 に長手方向位置および断面内での流速分布測定位置を示す。多点での流速測定のために Z 方向にステンレス管 (外形 1.5mm) を配置した楕円形総圧管を製作し、6 本の楕円形総圧管を車両床下パーツに Y 方向に並べて配置した。同じ楕円形総圧管の位置 (Y が同じ位置) を W1~W6 で示す。また、車両床下の流れは、車両底面と地面に挟まれ、XY 平面にほぼ平行に流れていると考えられるので、車両床下における Z 方向の静圧分布は無視できると仮定し、車両底面の静圧と楕円形総圧管の総圧から断面内の流速分布 (38 点) を計算した。

試験速度は 11m/s (40km/h) とした。その時のレイノルズ数は、代表長さに車両幅をとると 3×10^5 となり、現車 (120km/h) のレイノルズ数 6×10^6 より一桁小さくなる。車両の対気速度の測定には、3 号車の屋根に取り付けた直径 4mm の JIS 型ピトー管 (車両先端より 1190mm, 屋根上高さ 235mm) を用いた。また、走行試験を行う直前に、走行区間内 (流動環境シミュレータ内) の起点位置で、気温、湿度、大気圧を測定した。

3. 測定結果および考察

3.1 データ解析区間

車両模型は、試験速度まで加速された後、一定時間定速走行し、停止する。模型の速度は、自動車の走行速度によるため、定速走行区間においても多少の速度の変動があるので、本試験のデータは定速走行区間内の時間平均値とする。測定は同一条件で 2 回実施し、2 回の平均値を測定結果とした。測定結果は流速を対気速度で割った無次元流速 u/U で示す。横軸は車両底面と地面の距離を基準にした無次元高さで、0 は車両底面、1 は地面を示す。測定された流速は車両側から見た流速であり、車両表面で 0、地面で 1 となる。模型走行試験は、3 両編成もしくは 5 両編成で実施した。1 号車での測定は 3 両編成、2 号車~4 号車での測定は 5 両編成での走行試験を行った。

3.2 長手方向の流速分布

車両床下の流れが長手方向に発達する様子を図 7 (W1: 軌間内, W4: 軌間外) に示す。車両形状は Type1, 軌道種別は軌道 I である。1 号車先頭 (前位台車の上流) では、先頭部の影響により u/U が 1 以上に増速されているが、前位台車の後方となる 1 号車中央では、車両付近の遅い流れが車両床下全体に広がり、 u/U が 1 を超えない分布となる。更に、2 号車中央では 1 号車中央より流速が低下する。1 号車中央と 2 号車中央の間には、1 号車後位台車、車間部、2 号車前位台車があり、車両床下の流れがそれらの凹凸部を通過することにより流速が低下することがわかる。2 号車中央以降では、大きな流速の低下は見られず、編成の先頭で高かった流速が 2 号車中央までに減速し、それより後方では、ほぼ同じ流速分布に収束することがわかる。W1 の分布は発達した乱流クエット流れに近い分布となっている。4 号車中央では、無次元高さ 0.5 で W1 の u/U が約 0.5

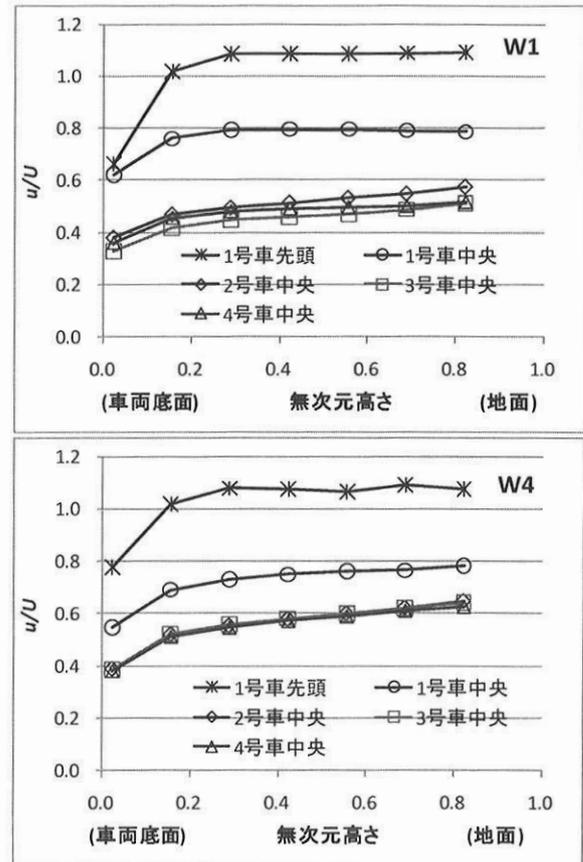


図 7 長手方向の流速分布 (Type1, 軌道 I)

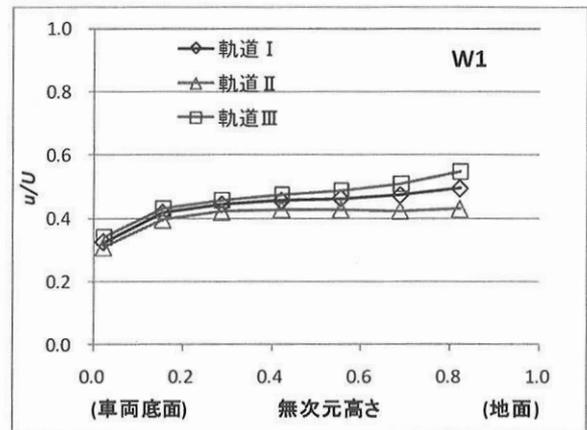


図 8 軌道の影響 (Type1, 4号車中央)

に、W4 の u/U が 0.6 弱になる。現車試験においても 2 号車以降の中間車両の流速分布は、ほぼ同じ流速分布になることが報告²⁾されており、模型走行装置による流速分布も同様の傾向を示すことが確認できた。

3.3 軌道の影響

図 8 に軌道種別と車両床下の流れ (W1) の関係を示す。車両形状は Type1, 長手方向測定位置は 4 号車中央である。地面に近い領域で、軌道 II に比べて、軌道 I, 軌道 III の流速が高くなる。軌道 I, 軌道 III の表面は凹凸があり、列車の通過により列車進行方向に流れが誘起される場合、これらの軌道表面の凹凸が流れの障害となり、列車進行方向の流れを抑制し、車両側から見た流速が高くなると考えられる。さらに、その影響が軌道面付近ばかりでなく、無次元

高さ 0.5 程度の領域まで広がっていることがわかる。

3.4 現車試験との比較

車両床下形状と軌道種別を合わせた条件の模型走行試験結果と現車試験結果³⁾の比較を行った。走行用車両模型は在来線車両の縮尺模型で、現車試験の車両は新幹線車両であるが、車両の床下形状は両者共にボディマウント形状に台車のフルスカートが取り付けられた同じ形状である。模型走行試験および現車試験結果を図 9 に示す。模型走行試験で得られた流速分布は、現車試験結果とおおよそ一致しており、車両模型走行装置により中間車両の流速分布を再現できることがわかる。

3.5 断面内の流速分布

車両の断面内の流速分布を図 10 に示す。車両形状は Type2、軌道種別は軌道 I、長手方向測定位置は 4 号車中央である。流速分布は軌間内 (W1, W2) と軌間外 (レール上を含む) (W3, W4, W5) に大別され、軌間外の流速は軌間内よりも高くなることがわかった。車両床下の流速は、おおむね車両底面付近で遅く、地面付近で速くなる傾向を示すが、軌間内では、無次元高さ 0.3~0.7 の領域で流速がほぼ一定となる。軌間外では、高さ方向の全領域において地面に近づくに従って徐々に流速が高くなることわかれる。

3.6 車両形状の影響

図 11 に車両形状が車両床下流れ (W1) に与える影響を示す。軌道種別は軌道 II、長手方向測定位置は 4 号車中央である。Type2 (ハーフスカート) の流速が最も高く、車両床下に限定すれば、Type1~Type4 の中では、Type2 の形状の車両床下の流れが最もスムーズであることになる。Type3 (フルスカート) は、Type2 より車両床面の平滑化が進んだ形状であるが、Type3 ではフルスカートにより台車部内の空気の車両側面方向の出入りがないために、台車部内の流速の低い空気の上方向の出入りが Type2 より多くなり、車両床下の流れが低くなるものと考えられる。また、Type4 (ハーフスカートで端部の無い形状) の流速が最も低くなるが、これは、端部が無いために、前後の台車部と車間部で大きな空間を形成し、主流方向の流れが内部に流れ込み、台車に当たり減速されたキャビティ内部の遅い流れが車両床下に出ることにより、流速が低くなることと考えられる。

4. まとめ

車両床下の空気の流れを解明するために、車両模型走行装置を開発した。また、模型走行試験を用いた試験により、車両床下の流れの長手方向の分布、断面内の流速分布、軌道の影響、車両形状の影響を明らかにした。模型走行装置の結果は現車試験結果 (中間車両、マクラギ方向中央位置) と概ね一致していることから、本試験で得られた詳細な流速分布の結果は、現車の床下の流れにおいても適用できると考えられる。

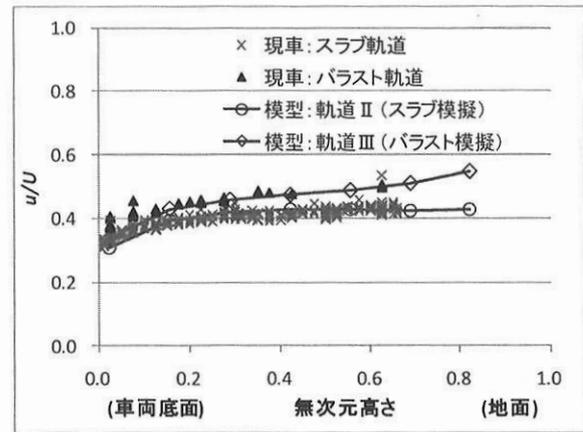


図 9 模型走行試験と現車試験の比較
(中間車両, マクラギ方向中央)

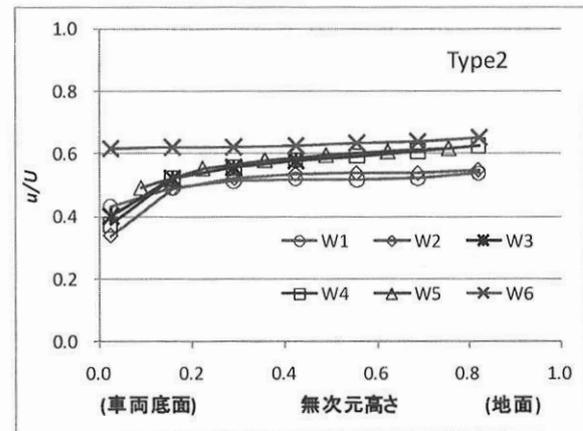


図 10 断面内の流速分布 (4号車中央, 軌道 I)

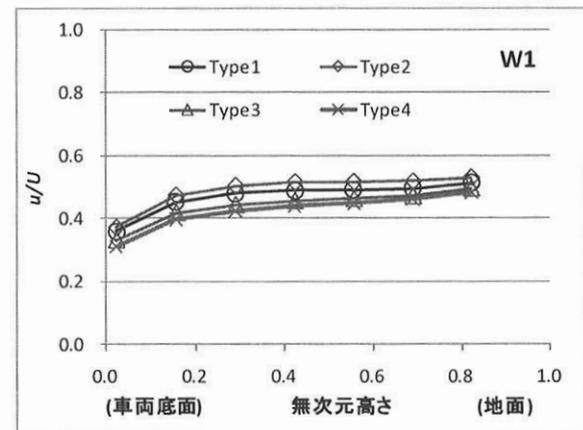


図 11 車両床下形状の影響 (4号車中央, 軌道 II)

参考文献

- 1) Yoshioka, S., et al.: Measurement of Ground Effect and Boundary Layer Transition by Towing Wind Tunnel, Fluid Dynamics Research, Vol.41, No.2, 2009.
- 2) 井門敦志: 車上側および地上側からの計測による車両床下流れの評価, 鉄道総研報告, Vol.23, No.7, pp.39-44, 2009.
- 3) 井門敦志,他: LDV による車両床下流速分布の測定, 第 16 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.199-200, 2009.