

正 [機] ○井門 敦志 (鉄道総研)

Study on flow above track by using moving model rig

Atsushi IDO, Railway Technical Research Institute 2-8-38, Hikari-cho Kokubunji-City

Between underside of vehicle and track surface, there are complex flows. The flow near the track surface is a main cause of ballast projection. To research the flow, we developed a moving model test rig. We measured the flow near the track surface of the moving model rig by using hot wire anemometer. We found out that the flow near the track surface is influenced by not only tracks but also the underside shape of the railway vehicles and that smoothing the underside shape reduces the velocity of the flow and its turbulence level.

Keywords : flow near track surface, model moving rig, ballast track, slab track

1. はじめに

列車通過に伴う車両の床下と軌道面との間の流れ場は、両者の相互作用により複雑な流れが形成されている。この領域の中で、軌道面付近の流れ（以降、軌道面流れ）は、バラスト飛散<sup>1)</sup>の主な原因であると考えられる。軌道面流れは、車両の床下形状および軌道面の状態に影響を受けると考えられるが、これまでの研究では、それらの影響は明らかになっていない。本研究では、車両床下の流れの研究のために開発した模型走行装置<sup>2)</sup>を用いて、軌道面の空気流れの解明を行った。

2. 軌道面流速測定

2.1 模型走行装置の概要

模型走行装置は、東北大学の流動環境シミュレータ<sup>3)</sup>内に設置し、自然風による外乱の影響を排除した。

図1に軌道の様子を示す。軌道は、アスファルト面に軌きょう（50kgN 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）を置いた構造である。軌道面流れの測定では、以下のようにして、バラスト軌道を再現した。軌道面流れの測定位置の前後の範囲では、かさ上げ用の角材の上に軌きょうを固定し、軌間内のみであるが軌きょうの下にバラストを敷設した。さらに、測定位置付近では、軌間外を含めてバラストを敷設した。使用したバラストは、直径5~10mmの碎石（庭石）であり、模型スケールで換算すると42mm~84mmに相当する。また、軌道条件が軌道面流れに及ぼす影響を調べるために、スラブ軌道状態の模擬を行った。ここでは、バラスト軌道面にアルミテープを貼り付け、軌道表面を平滑化するとともにバラスト内と軌道表面との空気の入りを無くした。

車両模型断面および長さは在来線車両を参考に製作した。車両模型の縮尺は1/8.4である。先頭部形状については、先頭部の剥離の影響をできる限り小さくするために流線形の先頭部（オリジナル形状）とした。図2に車両模型を示す。走行に用いた車両模型は、風洞実験に用いる車両模型の車体に走行可能な市販の台車（縮尺1/8.4）を取り付けた構成とした。

床下機器の台車側の面を端部塞ぎ板、端部塞ぎ板と車体に囲まれた空間と台車を合わせて台車部と記す。床下機器は、ボルトで車体の床下面に取り付けられており、

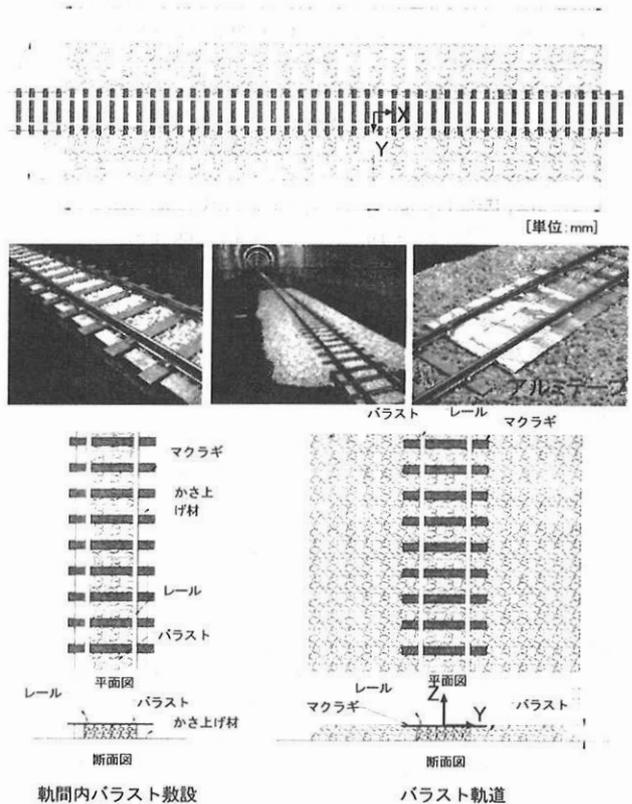


図1 軌道の様子



図2 車両模型

[No. 12-79] 日本機械学会 第19回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 [2012-12. 5~7. 東京]

床下機器の変更が可能な構造とした。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た。車両の床下形状を Type1~Type4 まで変更し、模型走行試験を行った。

- Type1: 床下機器無し (床下には台車のみが有る)
- Type2: 台形床下 (床下機器を平板で覆って一体化)
- Type3: ハーフスカート (ボディマウント+台車部側面ハーフスカート)
- Type4: 完全平滑 (ボディマウント+台車部側面フルスカート+台車下部カバー+車間幌)

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。

## 2.2 流速測定方法

熱線流速計による軌道面流速測定の様子を図 3 に示す。測定には、1 次元 (列車進行方向) の熱線流速計を用いた。熱線流速計のセンサーは、バラスト内に設置した固定ジグに取り付けた。熱線流速計の上を車両模型が通過した際に車両に誘起される軌道面の流れを測定する。

断面内 (YZ 平面内) のマクラギ方向位置は軌間内 (Y=0mm 中心) と軌間外 (Y=125mm)、高さ方向は Z=5mm と 30mm である。熱線流速計はダンテック社製 StreamLine(CTAModule 90C10) である。データ取り込み時のサンプリング周波数は 20kHz、データ個数は 200,000 個 (10 秒) である。車両形状および測定位置が同じ条件で、軌道面流れの収録を連続して 5 回実施した。試験速度は、40km/h (11m/s) であり、代表長さに車両幅をとるとレイノルズ数は  $3 \times 10^5$  となり、現車 (120km/h) のレイノルズ数  $6 \times 10^6$  より一桁小さくなる。

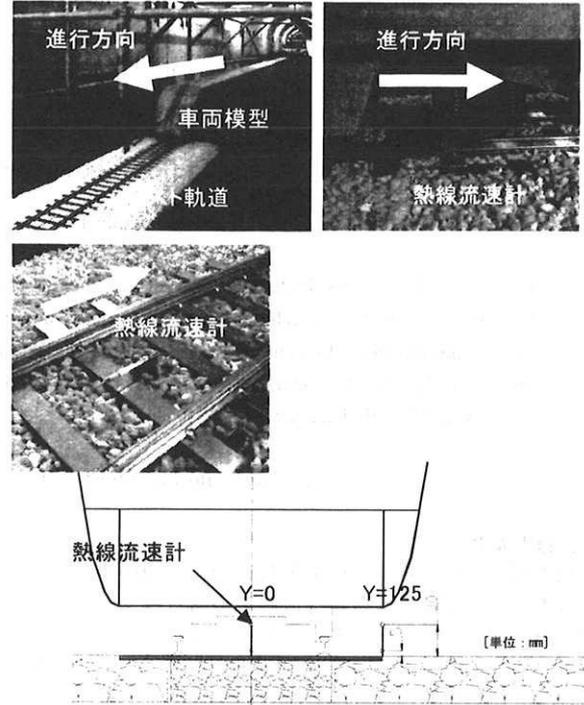


図 3 流速測定の様子

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 時系列データ

測定された流速を車両速度で無次元化し、以下に示す解析を行った。

車両形状および測定位置が同じ条件で、軌道面流れの収録を連続して 5 回実施し、5 回のデータのアンサンブル平均を求めた。アンサンブル平均データを求めること理由は、以下の 2 点である。

- (1) 電気信号ノイズはランダムに発生すると考えられるので、信号を重ねることにより、ノイズが除去できると考えられる。
- (2) 車両の床下形状に依存しない乱れ成分が除去される。車両床下の流れは乱れが大きく、収録されたデータには様々な乱れ成分が含まれている。仮に高い流速データが記録されていたとしても、その原因が、車両床下形状に依存するのかわからないかを区別することは難しい。ランダムに発生する渦による乱流成分は、複数のデータの平均化処理により相殺され、車両の床下形状より一意的に生じる流れの変化だけが残り、車両床下形状がバラスト表面流れに与える影響を評価することができる。

収録された時系列の流速のデータに車両が通過する際の平均流速を掛けて空間の流速データに変換した後、アンサンブル平均を求めた。

Y=0mm, Z=5mm 位置で測定された車両通過時の流速のアンサンブル平均を車両床下形状ごとに図 4 に示す。

軌道面の流れは車両の通過により誘起されるが、その原因として、

- ① 車両の表面の摩擦により車両に引きずられて移動する流体 (空気) の影響

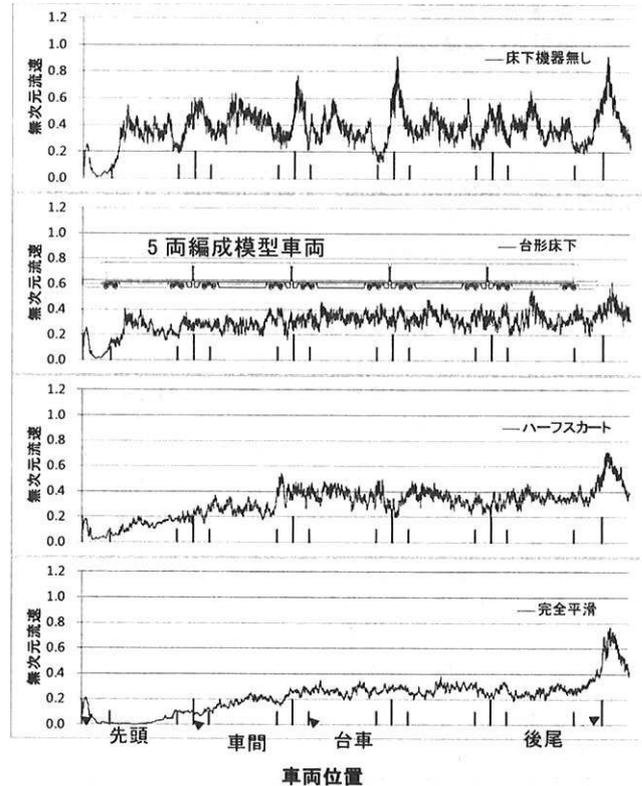


図 4 車両通過時の流速 (床下形状の比較) (Y=0mm, Z=5mm)

②台車部や車間部のように車両に囲まれている空間や機器の背後の空間の車両とともに移動している流体の影響

の両方が考えられる。床下機器無しと完全平滑を比較すると、車両床面が軌道面に近い完全平滑のほうが、全体的に軌道面流速が低くなる。このことは、軌道面流れの原因として、②の影響が大きいことを示している。床下機器無しでは、車間部および両車端の台車に囲まれた空間の（軌道側から見て）速い流れにより、車間部付近での流速が高くなるのがわかる。その影響は下流側にも広がり、他の床下形状と比較して、全体的に流速が高くなるものと思われる。一方で、完全平滑では台車部、車間部ともに下部カバーがあり、車両とともに移動している速い流体の影響を受けないために、全体としても、軌道面の流速が低くなる。台形床下およびハーフスカートでは、台車部の速い流体が軌道面近くに移動する影響により、完全平滑と比較すると全体的に流速が高くなっているが、この測定位置では、台車部と流速変化の明確な対応は見られない。

図5に車両通過時の流速のアンサンブル平均（ハーフスカート形状）を測定位置ごとに示す。図4にも示したように台車部での流速変化は  $Y=0\text{mm}, Z=5\text{mm}$  では見られなかったが、車両に近い  $Y=0\text{mm}, Z=30\text{mm}$  では明確に現れ、台車部通過時に流速が高くなるのがわかる。車両床面と軌道面に囲まれた空間の流れは乱れが大きく、車両に近い高さで観察される速度の高い流体の影響が全体に広がるが、軌道面近く ( $Z=5\text{mm}$ ) では台車部通過に対応するピークは見られない。また、軌間の内と外を比較すると、同じ測定高さでは、軌間外よりも軌間内の流速が高くなる。軌間外では測定高さ  $Z=30\text{mm}$  であっても、台車位置に対応する明確なピークは見られない。

### 3.2 平均流速と乱れ度

図4の時系列データの例からわかるように、軌道面流速は、先頭通過時から加速され、2号車以降では、流速の変動はあるものの流速の平均値はほぼ一定となり、後尾部通過後に一時的に流速が高くなるのがわかる。これは、現車試験で得られている知見と一致する。ここでは、アンサンブル平均をとった各試番(5試番)の時系列データについて、各々統計量解析を行い、流速がほぼ一定となる範囲（統計量解析区間：2号車中央～5号車中央）の流速の平均値、乱れ度（車両速度基準）を求めた。更に、各試番の統計量を平均(5試番の平均)し、統計量データ解析区間における平均流速と乱れ度とした。軌道面高さの影響を図6に示す。車両形状に関わらず、軌間内軌間外ともに測定位置が高いほうの流速が高く、また、乱れ度も大きくなる。車両形状に注目すると、軌間内での平均流速は高さによらず、床下機器無しが最も高くなり、完全平滑が最も低くなる。台形床下とハーフスカートは、ほぼ同程度である。乱れ度についても、床下機器無しが最も大きく、完全平滑が最も小さくなり、台形床下とハーフスカートは、ほぼ同程度である。現在の新幹線車両の床下形状に近いハーフスカート形状では、 $Y=0\text{mm}, Z=5\text{mm}$  での無次元流速は0.35、乱れ度は11%であった。

軌間外でも、概ね同様の傾向を示しており、車両床下を平滑にすることにより、流速が低くなり、また、乱れ度が小さくなるのがわかる。

マクラギ方向位置の影響を図7に示す。測定高さに関わらず、軌間内の平均流速が軌間外よりも高くなる。乱れ度については、 $Z=5\text{mm}$  高さでは、軌間内の乱れ度が大きくなる傾向を示すが、 $Z=30\text{mm}$  高さでは、軌間の内と

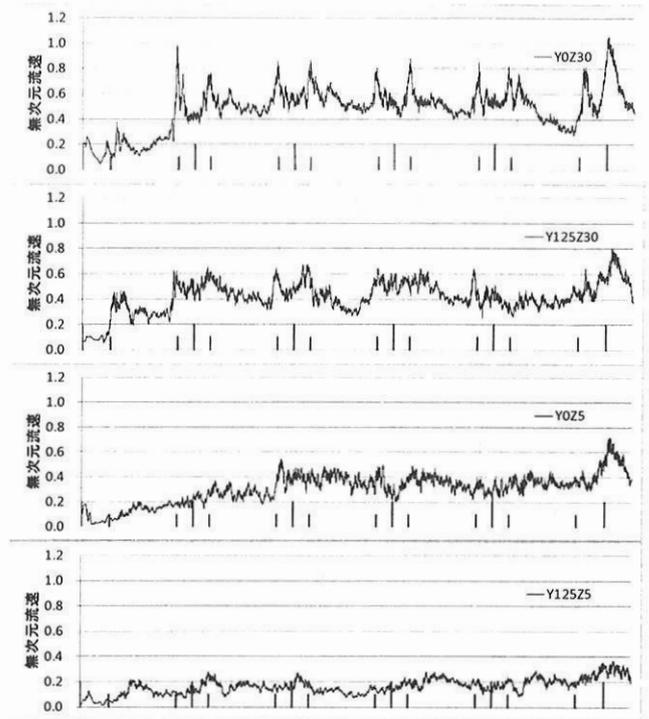


図5 車両通過時の流速（測定位置の比較）  
（ハーフスカート形状）

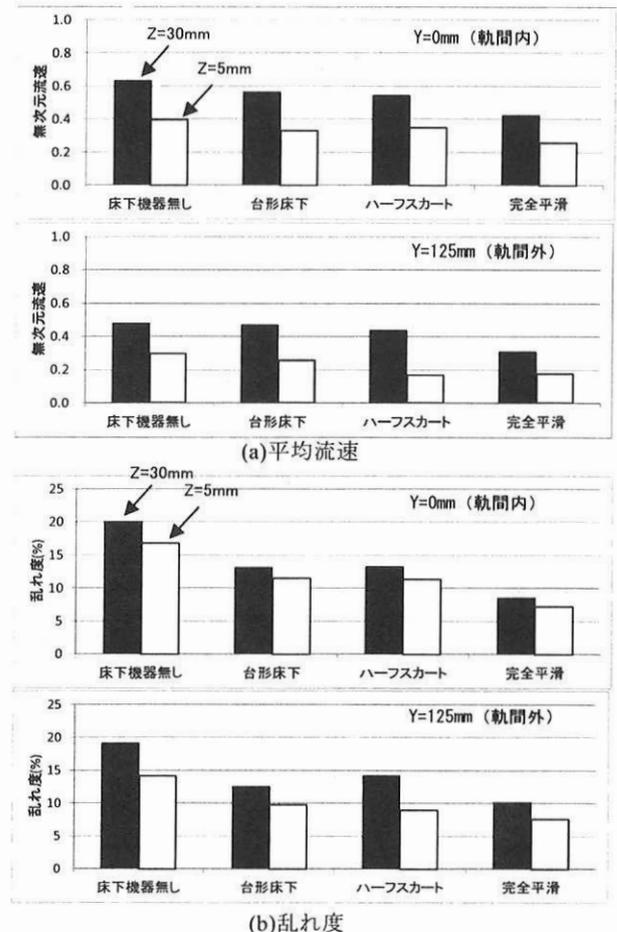


図6 軌道面高さの影響

外で同程度となる。

### 3.3 軌道種別の影響

車両の通過により軌道面上に空気の流れが誘起されるが、その流れは、軌道条件の影響も受ける。バラスト軌道とスラブ軌道模擬の平均流速と乱れ度を図8に示す。車両形状はハーフスカート、測定位置は、 $Y=0\text{mm}$ 、 $Z=5\text{mm}$ である。平均流速がスラブ軌道模擬のほうが高くなる一方で、乱れ度はバラスト軌道のほうが大きくなる。車両の床下形状を変化させた場合には、床下形状が平滑化することにより平均流速が低くなり、乱れ度も小さくなる傾向を示すが、軌道条件をバラスト軌道から平滑化（スラブ軌道模擬）すると、乱れ度は小さくなるが、平均流速は高くというように、逆の傾向を示している。バラスト軌道面に流れが誘起されると、軌道面を流れている流体とバラスト表面やバラスト内部の静止した流体との混合が起こるが、スラブ軌道では、そのような混合は起こらない。その結果、バラスト内の静止した流体の影響により軌道面の流速は低くなり、また、バラスト表面や内部の流体との混合のために、乱れ度は大きくなると考えられる。

### 4. まとめ

バラスト飛散という安全に関わる課題に関連している軌道面の流れについて、模型走行装置による走行試験により、軌道面流れの解明を行った。その結果以下のことが明らかになった。

- (1) 軌道面流れの主な原因としては、車体表面の摩擦により車両に引きずられて移動する流体の影響よりも、台車部や車間部の空間にある車両とともに移動する流体の影響が大きいことがわかった。
- (2) ハーフスカート形状では、車両に近い場所では台車部の通過による流れの増速が見られるが、車両から離れた軌道面では台車部に対応したピークは見られない。
- (3) 軌間内および軌間外の軌道面流速は、車両の床下形状の影響を受ける。車両床下形状を平滑にすることにより、軌道面流速を低くし、また、乱れ度を小さくすることができる。
- (4) ハーフスカート形状では、軌間内で軌道面に近い位置( $Y=0\text{mm}$ 、 $Z=5\text{mm}$ )での無次元流速は0.35、乱れ度は11%であった。
- (5) 軌間内の軌道面流速は、軌間外よりも高くなる。
- (6) 軌道面流速は軌道種別の影響を受け、平均流速はスラブ軌道模擬のほうが高くなるが、乱れ度はバラスト軌道のほうが大きくなる。

### 参考文献

- 1) 吉田真, 内田雅夫, 矢口直幸, 御船直人: 高速走行時のバラスト飛散防止対策, 鉄道総研報告, Vol.6, No.6, pp.27-36, 1992
- 2) 井門敦志, 吉岡修哉: 車両模型走行装置による車両床下流れの解明, 第18回鉄道技術・政策連合シンポジウム講演論文集, pp.131-134, 2011
- 3) Yoshioka, S., Kikuchi, S., Ohta, F., Kato, T., Song, J. and Kohama, Y.: Measurement of Ground Effect and Boundary Layer Transition by Towing Wind Tunnel, *Fluid Dynamics Research*, Vol.41, No.2, 2009

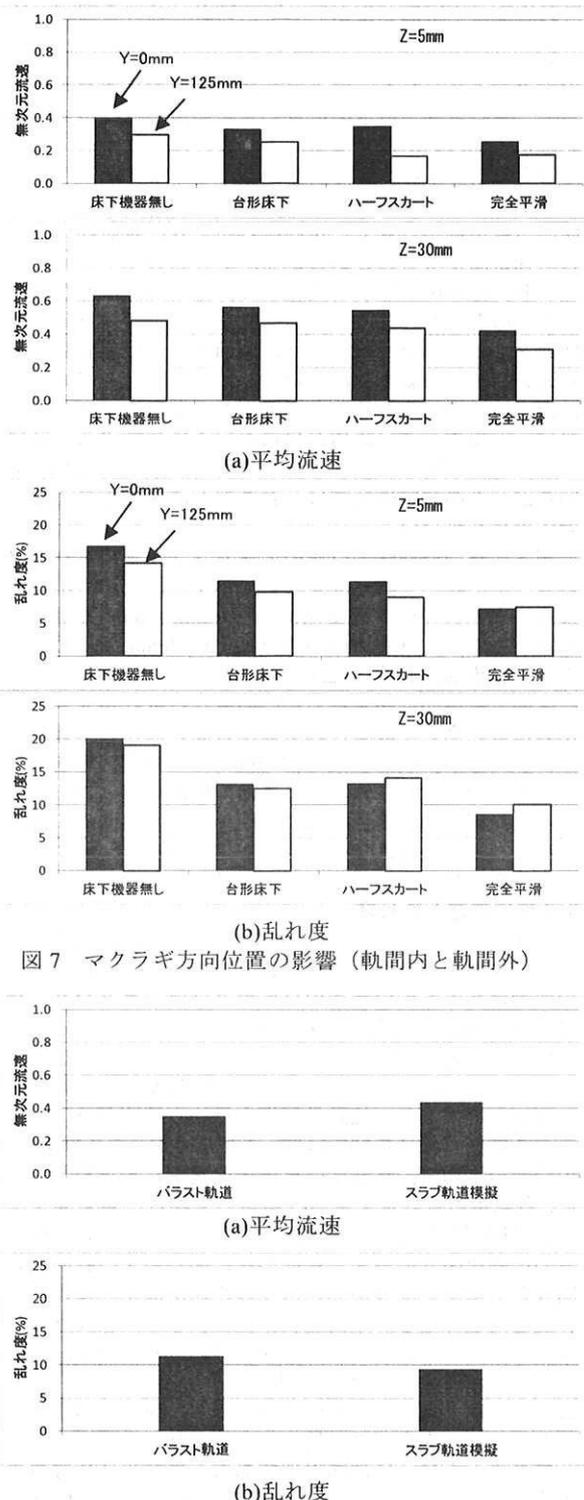


図7 マクラギ方向位置の影響 (軌間内と軌間外)

図8 軌道の影響 (ハーフスカート,  $Y=0\text{mm}$ ,  $Z=5\text{mm}$ )