

新幹線車両の床下流れの特性

岩崎 誠* 井門 敦志* 山崎 展博**
 宇田 東樹** 若林 雄介***

Characteristics of Under-Floor Flow of Shinkansen Vehicle

Makoto IWASAKI Atsushi IDO Nobuhiro YAMAZAKI
 Toki UDA Yusuke WAKABAYASHI

It is necessary to make clear the characteristics of the flow between the underside of vehicle and the track surface in order to establish measures to reduce the aerodynamic noise and the aerodynamic drag due to under-floor flow of Shinkansen vehicles. It is expected that the under-floor flow has velocity distribution not only in the vertical direction but also in the railway sleeper direction. In addition, it is expected that the vehicle shapes affect the under-floor flow. We installed hot wire anemometers on the slab track of Shinkansen lines to study the flow in detail, and measured the velocity distribution of the flow in the railway sleeper direction when several kinds of Shinkansen vehicles passed over them. As a result, we clarified the under-floor flow velocity distribution in the railway sleeper direction.

キーワード：空力騒音，空気抵抗，床下形状，床下流れ

1. はじめに

新幹線車両下部の流れに起因する列車の空力騒音¹⁾や空気抵抗を低減²⁾させるためには、車両下部の流れ場を把握する必要がある。車両通過に伴う列車長手方向の床下流れは、まくらぎ方向にも分布をもつと予想されるため、より詳細に流れ場を把握するためには、まくらぎ方向の流速分布を測定する必要がある。また、車両形式により床下形状や平滑度合いが異なるため、車両下部の流れ場は、車両形式によっても違いがあると考えられる。そこで、複数の車両形式を対象とした車両床下の流速データを取得するために、軌道側に熱線流速計9台を設置し、まくらぎ方向の流速分布を測定した。そこで得られた結果から、新幹線車両の床下流速に関して、まくらぎ方向の分布および車両形式が床下流れに与える影響を明らかにした。

2. 現地試験の概要

2.1 測定概要

本測定では新幹線のスラブ区間において、まくらぎ方向に1次元の熱線流速計を9箇所配列し(図1)、新

* 環境工学研究部 車両空力特性研究室
 ** 環境工学研究部 騒音解析研究室
 *** 東日本旅客鉄道株式会社

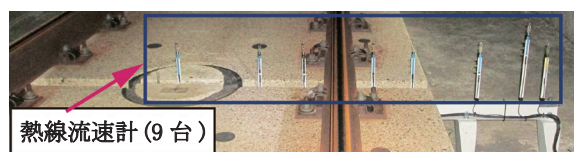


図1 熱線流速計の取付状況

幹線車両通過時の列車長手方向流速のまくらぎ方向における流速分布の測定を行った。

2.2 測定列車

測定対象とした列車は、A系10両編成(19本、列車平均速度：271km/h)、B系10両編成(11本、列車平均速度：274km/hおよび316km/h)、C系7両編成(5本、列車平均速度：316km/h)である。また、A系、B系、

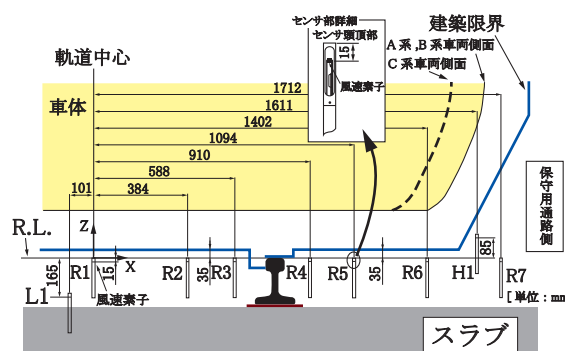


図2 各車両の底部形状および熱線流速計配置図

特集：環境工学

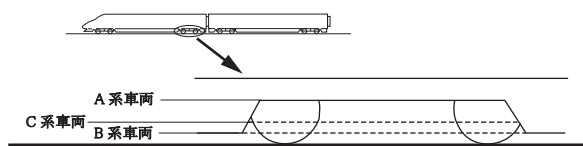


図3 各車両の台車部の側スカート高さ

C系車両では、先頭部および後尾部の形状、車体幅（A系とB系はほぼ同等であるが、C系は狭い仕様である（図2））、台車形状、台車部の側スカートの形状が異なる。台車部の側スカート高さの模式図を図3に示す。

3. 流速測定法

3.1 測定装置

測定で使用した計測器を表1に示す。使用した熱線流速計は、定温度型の熱式流速計であり、熱線に対して垂直方向の速度の大きさが検出される。本測定では、各センサの熱線をまくらぎ方向と一致する向きに揃えたため、測定された速度は、列車長手方向および鉛直方向の速度成分を合成したものとなり、まくらぎ方向の速度成分は測定値に含まれない。また、列車速度検出装置として、車軸検知器を用いた。

表1 使用計測器

種別	型式	台数
熱線流速計	KANOMAX ANEMOMASTER MODEL 6141	9
A/D変換器	ナショナルインスツルメント cDAQ9174+9229	3
温度・湿度・大気圧データロガー	T&D TR-73U	1
車軸検知器	カネコ KS800A	1

3.2 センサ位置

測定点の座標および位置関係を図2に示す。座標原点は、下り線側軌道中心のレールレベル（以下、R.L. とする）にとり、車両の先頭から後尾に向かって見て保守用通路側をX軸の正方向、鉛直上方をZ軸の正方向とする。センサは、本体頭頂部がR.L.となる高さに7箇所（R1～R7：流速を検知する風速素子は、R.L.から15mm低い位置となる）、軌道中心付近でR.L.より低い位置に1箇所（L1）、建築限界外側でR.L.より高い位置に1箇所（H1）の合計9箇所を設置した。

センサの電圧出力は、保守用通路上でセンサ出力ケーブルと専用の延長ケーブルとを接続し、防音壁の隙間から柵外に引き出し、アンプに接続した。

3.3 データ収録

熱線流速計および車軸検知器の出力ケーブルを高架橋の下に導出し、アンプに接続した。アンプからの出力をA/D変換器（±6.0V, 24bit）を介してPCに収録した。A/D変換のサンプリング周波数は2kHz、アンチエイリアシングフィルタは1kHzである。

4. データ解析

4.1 物理値変換

本現地試験で使用した熱線流速計は、センサで検知した風速を電圧出力（0～1V：0～50m/s、リニア出力）する仕様となっている。一方で、流速が50～60m/sにおいても、電圧出力するが、その範囲では、電圧と流速の関係が明らかになっていない。そこで、鉄道総研の小型風洞を用いて、0～60m/sの範囲で熱線流速計の校正を行った。本研究では、本校正の結果を用いて流速値を算出した。

4.2 列車通過に伴う流速測定

本研究での流速測定は地上側で行っており、以下に示す流速とは、測定された流速を列車速度で無次元化した流速であり、全て地上固定座標系での結果である。

ここで、列車の通過に伴い誘起される車両床下流速の一例を図4に示す（A系通過時におけるR1の出力波形）。これまでの研究³⁾と同じように、先頭部から2号車にかけて、流速が急激に高くなり、その後ほぼ一定の流速となる。そして、後尾車両通過時に最大流速が観測される。本研究では、図5に示す車両の各部位が通過している時間の平均流速を求め考察を行う。

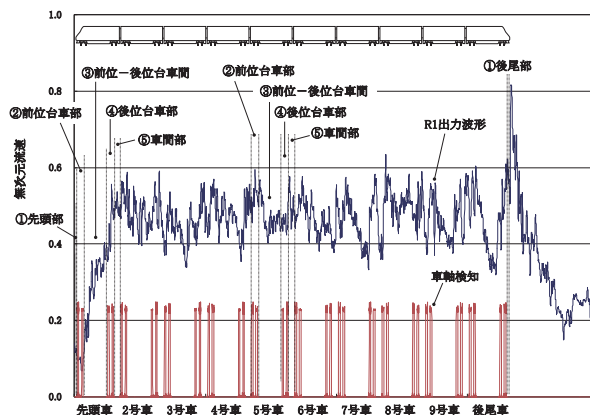
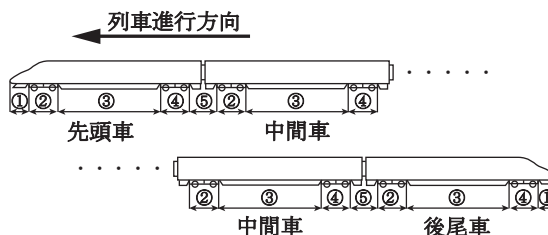


図4 A系通過時の熱線流速計の出力波形の例（R1）



データ解析区間

- ①先頭部および後尾部 ②前位台車部 ③前位-後位台車間
- ④後位台車部 ⑤車間部

図5 車両各部位の解析区間の詳細

5. 測定結果

A系およびB系10両編成、C系7両編成の列車について、列車毎に車両各部位の平均流速を求め、更に部位別に、測定した全列車のアンサンブル平均を求めた。以下に示す平均流速（以後、単に流速）とは、このアンサンブル平均の値である。これらの平均流速の列車長手方向およびまくらぎ方向の流速分布を以下に示す。

図6～図8は、横軸に先頭車の前位台車第1軸中心を原点とする解析位置(各解析区間の中間値)までの距離を、縦軸に床下流速の無次元流速の平均値をとり、各熱線流速計の解析区間における平均流速分布を示している。

図9～図15は、横軸に軌道中心を原点とするR1～R7のまくらぎ方向位置(熱線流速計のセンサ頭頂部をR.L.高さに設置)を、縦軸に床下流速の無次元流速の平均値をとり、まくらぎ方向の平均流速分布を示している。また、まくらぎ方向の流速分布については、A系、B系、C系車両の先頭部および後尾部、先頭車と中間車両の各部位、A系車両の先頭車と中間車の各部位の流速分布について考察を行う。中間車両については、以下に示すように、先頭車および後尾車通過時の流速の変動に比べて、ほぼ流速が一定となっているので、ここでは、5号車の結果を用いた。

5.1 列車長手方向の流速分布

A系の列車長手方向の流速分布(図6)では、軌道中心のR.L.高さに設置したR1の流速が最も高いことが分かった。また、2号車以降の車両では、車間部、前位台車部、前位-後位台車間、後位台車部の順に流速が低くなる傾向が見られる。R1以外の熱線流速計の各部位の流速については、車両側面より外側に設置したR7を除き2号車以降で流速がほぼ一定となっている。

軌道中心の近くに設置したL1では、熱線流速計と車両床面との距離が最も離れていることから、R1に比べ全体的に流速が低くなっている。また、R1の2号車以降の車両において特徴的な、部位別に大きな流速差が発

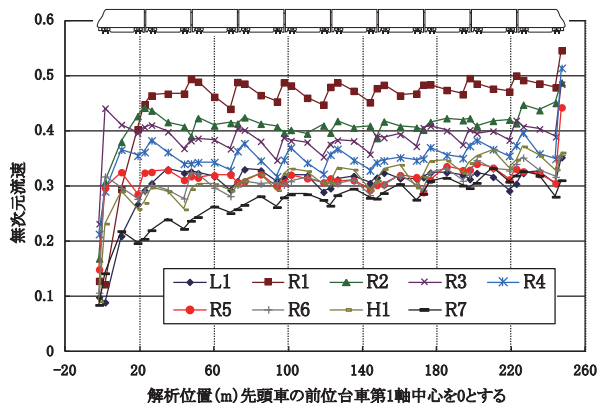


図6 A系の列車長手方向流速分布

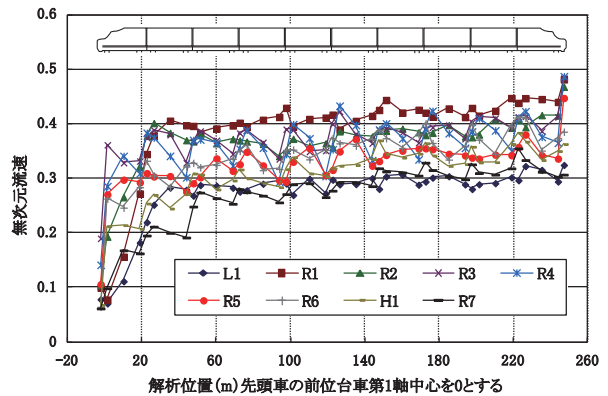


図7 B系の列車長手方向流速分布

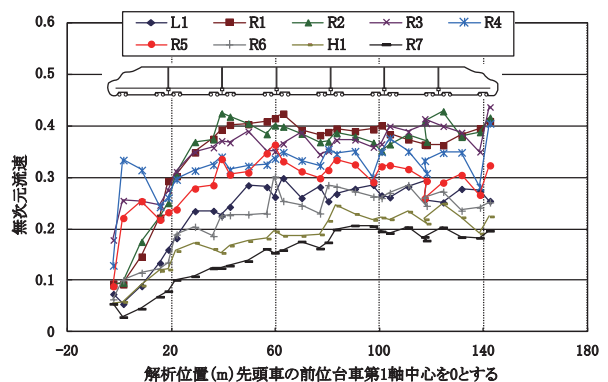


図8 C系の列車長手方向流速分布

生する傾向が認められず、2号車以降の車両では、ほぼ一定の流速となっている。

B系の列車長手方向の流速分布(図7)では、A系と同様に軌道中心のR.L.高さに設置したR1の流速が最も高いことが分かった。また、各部位においては、A系とは異なり2号車から後尾車にかけて流速が緩やかに高くなる傾向がみられる。

C系の列車長手方向の流速分布(図8)では、A系およびB系とは異なり、2号車から後尾車の範囲で軌道中心のR.L.高さに設置したR1の流速分布がR2およびR3とほぼ同等となっていることが分かった。

次に、軌道中心のR.L.高さに設置したR1の各車両の列車長手方向の流速分布について考察する。全体的にA系の流速が高くなっている。B系とC系では編成両数が異なるが、3号車から5号車の範囲で、ほぼ同等な流速となっている。また、A系の2号車以降の車両で見られた各部位の流速の変化は見受けられない。

A系およびB系車両の車両床面端部直下付近に設置したR6の流速分布について考察する。3号車以降の車両でB系の流速が最も高いことが分かる。これは、B系車両の先頭形状や台車部の側スカート形状によるものと推測される。

車両側面より外側に設置したR7の流速分布について

特集：環境工学

考察する。A系とB系は車両幅がほとんど変わらないため、列車長手方向の流速が全体的にほぼ同等となっている。C系については、車両幅が最も狭いことから、全体的に流速が低くなっている。

5.2 まくらぎ方向の流速分布

本節以降では、センサ頭頂部をR.L.高さに合わせて設置したR1～R7の測定結果を用いて、まくらぎ方向の流速分布について考察する。

5.2.1 先頭部および後尾部

先頭部および後尾部のまくらぎ方向の流速分布を図9に示す。先頭部では、A系、B系、C系車両共に、軌道中心に設置したR1からまくらぎ方向にレール内側近傍のR3に向かって流速が高くなっている。流速はR3で最も高くなり、そこからまくらぎ方向に向かって流速が低くなっていることが分かる。また、車両形式により流速が異なりA系の流速が最も高く、B系とC系は、ほぼ同等な流速となっていることが分かる。

後尾部では、A系、B系、C系車両共に、先頭部に比べ流速が全体的に高いことが分かる。A系とB系車両では、軌道中心に設置したR1の流速が、A系の方が若干高いが、それ以外の箇所では、R2からR4の範囲で一定の流速となり、R4からR7に向かって流速が低くなるといった、ほぼ同等な流速分布となっている。C系車両は、A系およびB系車両に比べ、全体的に流速が低いことが分かる。R1からR4の範囲で若干R3の流速が高くなるが、ほぼ一定の流速となり、R4からR7へ向かって流速が低くなっている。

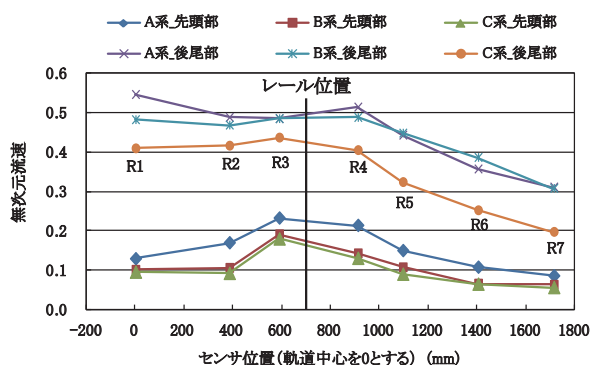


図9 先頭部および後尾部のまくらぎ方向流速分布

5.2.2 前位台車部

先頭車および5号車の前位台車部のまくらぎ方向流速分布を図10に示す。先頭車では、A系、B系、C系車両共に軌道中心に設置したR1と車両側面の外側に設置したR7の流速が低いことが分かる。A系およびB系では、R1からレール内側近傍のR3に向かって流速が高くなり、概ねR3からR7に向かって流速が低くなっている。C系車両では、R1からレール外側近傍に設置し

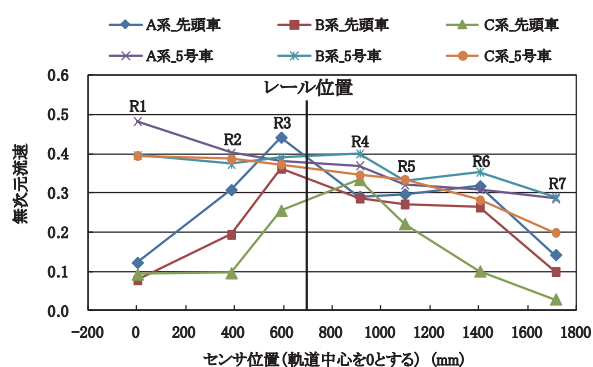


図10 前位台車部のまくらぎ方向流速分布

たR4に向かって流速が高くなり、R4からR7に向かって流速が低くなっていることが分かる。

5号車ではA系車両のR1における流速が、B系およびC系車両に比べ高いことが分かる。A系およびC系車両では、概ねR1からR7へ向かって流速が低くなっている。B系車両では、A系車両ほど明確ではないが、全体としては、概ねR1からR7に向かって流速が低くなっている。C系車両では、車両幅が最も狭い仕様であることから、R6からR7の範囲における流速がA系およびB系車両に比べ低いことが分かる。車両床下の幅方向の端部(図3)の直下付近に設置したR6で一旦流速が高くなる傾向は、B系車両で顕著である。その原因として、A系車両では台車部の側スカートが車輪の上部にかかる程度の高さであるため、台車の存在により、台車部から外側および下側へ向かう流れが形成されていると考えられるが、B系では台車部の側スカートが車輪の大半を覆う位の高さまで取付けられているため、台車部から外側へ向かう流れが抑制され、台車の存在による流れが下側に強く流れるため、流速が高くなると思われる。C系車両の台車部の側スカートは、A系車両とB系車両の中間程度の高さであるが、車体幅が狭い仕様のため、R6と車両床下端部の距離が離れており、B系車両と同様な傾向にならないと推測される。

5.2.3 前位-後位台車間

前位-後位台車間のまくらぎ方向流速分布を図11に示す。先頭車では、前位台車部に比べ、A系、B系、C系車両共に軌道中心に設置したR1の流速が高くなっている。また、C系車両では、R6およびR7の流速が、5号車に比べて低いことが分かる。5号車では、前位台車部と同様に、A系車両のR1の流速がB系およびC系車両に比べ高いことが分かる。B系車両についても前位台車部と同様に、レール内側から外側のR4に向かって僅かではあるが流速が高くなる傾向である。全ての車両において、概ねR1からR7に向かって流速が低くなっており、前位台車部でみられたR6で一旦流速が高くなる傾向はみられない。軌道中心からレールの内側の範囲

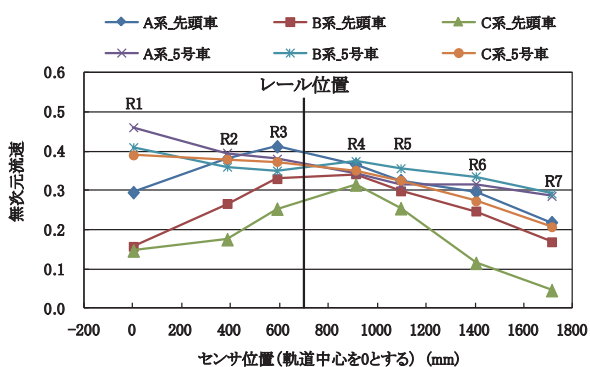


図 11 前位 - 後位台車間のまくらぎ方向流速分布

では、A系の流速が最も高く、レール外側近傍から車両床面端部の範囲では、B系の流速が最も高くなっている。C系については、前位台車部と同様にR6からR7の範囲の流速が、A系およびB系車両に比べ低いことが分かる。

5.2.4 後位台車部

後位台車部のまくらぎ方向流速分布を図12に示す。先頭車では、前位台車部および前位 - 後位台車間に比べ、A系、B系、C系車両共に軌道中心に設置したR1の流速が更に高くなっている。A系車両では、概ね軌道中心付近から最も外側のR7に向かって流速が低くなっており、5号車の流速分布に徐々に近付いていることが分かる。

B系車両では、軌道中心付近の流速が5号車に比べ低くなっている。C系車両では、R1からR7の流速が全体的に5号車に比べ低いことが分かる。

5号車では、A系、B系、C系車両の流速は、前位台車部および前位 - 後位台車間と同様に概ねR1からR7に向かって低くなっていることが分かる。軌道中心に設置したR1とその直近のR2の範囲では、A系車両の流速が最も高く、R3からR5の範囲ではA系、B系、C系車両の流速がほぼ同等となっている。R6からR7の範囲では、前位台車部と同様にB系車両においてR6で一旦流速が高くなる傾向がみられる。R7においては、A系とB系車両の流速がほぼ同等である。C系車両は、前位台車部および前位 - 後位台車間と同様にR6からR7

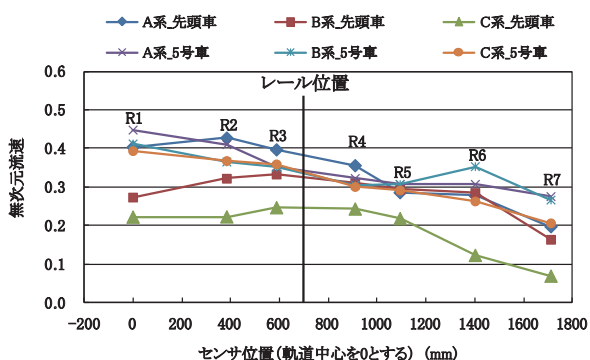


図 12 後位台車部のまくらぎ方向流速分布

の範囲の流速が、A系およびB系車両に比べ低いことが分かる。

5.2.5 車間部

車間部のまくらぎ方向流速分布を図13に示す。1-2号車間では、前位台車部、前位 - 後位台車間、後位台車部に比べ、A系、B系、C系車両共に軌道中心に設置したR1の流速が更に高くなっている。特にA系およびB系車両では、R1の流速は5-6号車間に比べて若干低いが、R2からR5の範囲では、5-6号車間の流速とほぼ同等となっていることが分かる。また、B系車両のR6では一旦流速が高くなる傾向もみられる。C系車両では、概ねR1からR7に向かって流速が低くなっているが、5-6号車間に比べ、全体的に流速は低い。

5-6号車間では、A系、B系、C系車両の流速は、前位台車部、前位 - 後位台車間、後位台車部と同様に概ねR1からR7に向かって低くなっていることが分かる。他の部位と同様にR1とその直近のR2の範囲では、A系の流速が最も高いことが分かる。R3からR5の範囲では、A系、B系、C系車両の流速がほぼ同等となっている。前位台車部および後位台車部と同様にB系車両では、R6で一旦流速が高くなる傾向がみられる。この傾向は、台車部近傍の部位においてのみ現れることから、前述した通り台車部の側スカート形状による現象と推測される。また、車両側面外側のR7の流速は、A系、B系、C系車両共に1-2号車間に比べ5-6号車間の方が高くなっている。

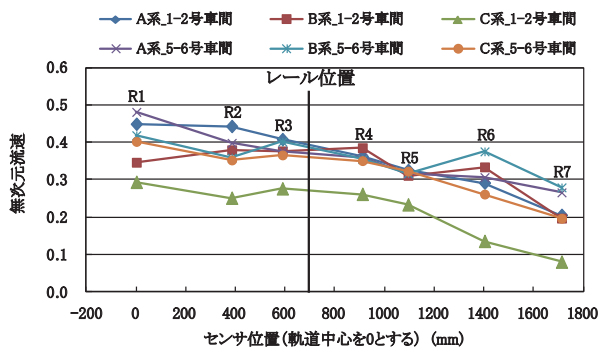


図 13 車間部のまくらぎ方向流速分布

5.2.6 車両部位の影響

本項では、A系車両の先頭車および5号車の各部位のまくらぎ方向における流速分布について考察する。先頭車の流速分布を図14、5号車の流速分布を図15に示す。

図14に示すように、先頭部の流速がR1からR7の範囲で、他の部位に比べ全体的に低いことが分かる。その後、前位台車部通過により流速が高くなる。これは、台車の通過により車体付近の空気が攪拌され、車両から離れた領域まで影響を与えるためである。特に、レールに近い位置の流速が高くなっているが、このことは、車体

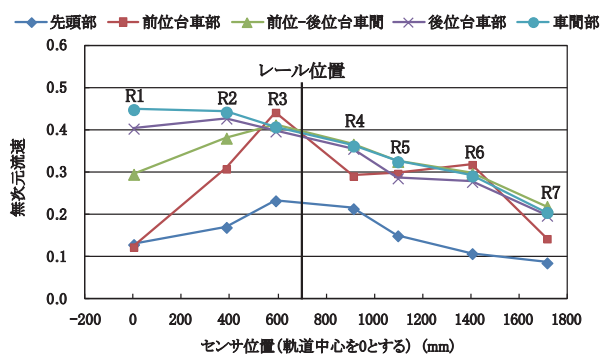


図 14 A系先頭車の各部位のまくらぎ方向流速分布

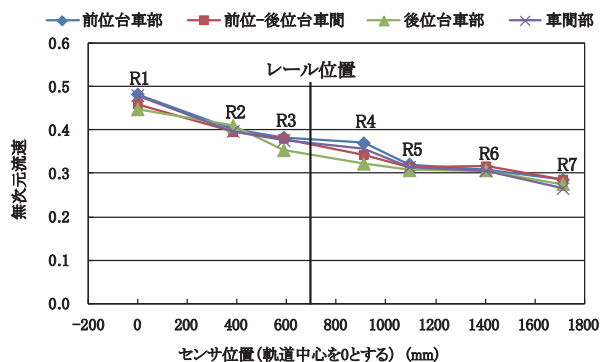


図 15 A系5号車の各部位のまくらぎ方向流速分布

付近の空気の攪拌が車輪の影響を強く受けている可能性を示唆するものである。

図 15 に示した 5 号車では、部位別に多少の差はあるが、概ね軌道中心に設置した R1 から R7 に向かって流速が低くなっている。

6. まとめ

新幹線の車両下部の流れ場をより詳細に把握するために、スラブ軌道面のまくらぎ方向に熱線流速計 9 台を設置して、新幹線通過時の車両下部の流速測定を実施した。得られた測定結果を地上固定座標系の流速と整理し、各車両形式毎に床下流速を列車速度で無次元化した無次元

流速について、車両部位別に平均値を求めた結果、A系、B系、C系車両について以下のことが明らかになった。

- (1) A系、B系、C系車両における列車長手方向の流速分布では、概ね軌道中心の R.L. 高さに設置した R1 の流速が最も高い。
- (2) A系車両では、軌道中心の R.L. 高さに設置した R1 の流速が、2号車以降の車両で、車間部、前位台車部、前位-後位台車間、後位台車部の順に低くなる傾向が顕著である。
- (3) A系、B系、C系車両のまくらぎ方向の流速分布では、先頭車を除く車両で、多少の変動はあるが軌道中心に設置した R1 からまくらぎ方向に向かって、概ね流速が低くなることが分かった。ただし、B系車両では、車両床下の幅方向の端部直下付近に設置した R6 で一旦流速が高くなる傾向がある。
- (4) 軌道中心からレール内側の範囲では、A系の流速が高く、レール外側から車両床面端部内側の範囲では、B系の流速が高い傾向である。
- (5) A系車両の先頭車のまくらぎ方向の流速分布においては、前位台車通過時に流速が高くなる。特に、レールに近い領域の流速の増加が顕著に表れる。

文献

- 1) Yamazaki, N., Ido, A.: Evaluation Methods for Aerodynamic Noise From a High-Speed Train Bogie in a Wind Tunnel Test, Proc. of Inter-noise 2011, CD-R, 2011.
- 2) 井門敦志, 宮地徳蔵, 井上達哉, 蝦名弘太, 岩崎誠: 在来線車両の形状改良による空気抵抗低減と省エネルギー効果の評価, 鉄道総研報告, Vol.27, No.1, pp.41-46, 2013
- 3) 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
- 4) 岩崎誠, 井門敦志, 山崎展博, 宇田東樹, 若林雄介: スラブ軌道における新幹線車両通過時の車両床下流れの測定, 第 20 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2013) 講演論文集, pp.195-198, 2013