鉄道車両における可視化*

小 沢 智**

Flow Visualization in High Speed Trains

Satoru OZAWA

1. はじめに

東北新幹線は昭和60年3月の上野開業時に最高速度が240 km/hに向上した。フランスでは、昭和56年にTGV (Train à Grande Vitesse) がパリ・リオン間を最高速度260 km/hで開業し、昭和58年には270 km/hに速度向上している。さらには、従来の鉄車輪・レール方式では到達できない速度を目指して、また、より低公害の鉄道を目指して、磁気浮上式鉄道の開発が日本、西ドイツ等で進められている。

鉄道が大都市間輸送において大きなシェアを確保するための条件の一つは高速性である(沿線の人々に対する環境保全性を十分考慮しなければならないことは勿論である)。列車速度が高くなるに従って、空気力学的現象が顕著になってくる。特にわが国のようにトンネルが多い場合には‘列車・トンネル系の空気力学’の問題(表1)が顕著になってくる。表1に掲げた項目のうち、あるものはトンネル内外で共通の問題である。また、‘空力騒音’等も共通の問題である。

これらの問題に対するアプローチの方法として、理論解析、数値計算、模型実験、現車試験等がある。本特集号は、‘実現現象および実機における可視化’をテーマとしたものであるが、鉄道車両においてはそれらの事例が非常に少ない。そのため、本稿では主として鉄道車両に関する風洞実験において、現象をより明確に把握するために行った‘流れの可視化’の例について述べ、一部実

車における例を紹介することにする。

2. 鉄道車両における可視化の例

2.1 新幹線電車の先頭部および後尾部

現在、東海道・山陽新幹線に使われている電車は0系と呼ばれ、昭和39年の東京・新大阪間開業以来形状は変わっていない。昭和60年秋から、100系と称するモデルチェンジ車(列車中間部に2階建て車両2両を連結し、列車先頭部の形状は現行のものに比べて細長い;図1参照)の運転が予定されている。モデルチェンジに際して、先頭部形状を空気力学的に望ましい(空気抵抗が小さい;対向列車あるいは地上構造物に及ぼす風圧が小さい)形状に、二義的には、よりスピード感にあふれた形状に変更することになった。

自動車のように比較的短い乗物では、先頭部

表1 列車・トンネル系の空気力学的問題

トンネル	微気圧波†
	トンネル内温度上昇
	トンネル内換気
	火災対策
列車	トンネル内圧力変動
	列車通過時の風圧
車両	空気抵抗
	列車側面の圧力変動
	換気方式と車内圧変動
	列車すれちがいの圧力
	列車に働く空気力
	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">{</div> <div> トンネル出入口における過渡現象 トンネル内走行時 </div> </div>

† 列車がトンネルに突入した時生じた圧縮波が、トンネル内を伝播して反対側の坑口に達した時、坑口から外部に放射されるパルス状の圧力波

*原稿受付 昭和60年7月8日

**鉄道技術研究所

図1 東海道・山陽新幹線に新しく登場した100系新幹線電車

(後尾部)形状改良による空気抵抗低減効果は明確に現れるが、列車のように非常に長い乗物では、中間部の空気抵抗が主要な部分を占めるため、先頭部および後尾部形状が空気抵抗に及ぼす影響は小さい。例えば16両(400 m)の新幹線電車の場合、列車中間部の空気抵抗(側面の摩擦抵抗;屋根上および床下機器、車両の継ぎ目、パンタグラフ等の空気抵抗を含み、列車長にはほぼ比例する)は空気抵抗全体の約90%を占めている。

100系新幹線電車の先頭部形状を検討するために風洞実験が行われた(模型:1/10模型4種類,風洞:川崎重工業㈱技術研究所内鉄構・機器事業部構造物用風洞)。この試験では、タフト法および油膜法による車体表面の流れの観察,および空気抵抗の測定が行われた。一般に、地面の模擬法として、固定地面板法、鏡像法、移動地面板法、

図2 100系新幹線電車1/10模型後尾部における流れ(油膜法)(写真提供 国鉄車両設計課)

実験条件 空気, 大気圧, 常温, 28 m/s, 車両幅 0.338 m

撮影条件 マミヤプレス, 127 mm/F 4.7, フジネオパン SSS (6cm × 9cm), F 8・1/4 s, 撮影距離 2.5 m, 照明 500 W 3灯・蛍光灯2本(天井), 現像 ミクロファイン (20°C) 9分

の3とおりがあるが、ここでは固定地面板法が用いられている。図1の100系新幹線電車1/10模型の先頭部まわりの流れの様子をタフト法で調べた結果を口絵写真2に示した(10°の斜め風, 風速 28 m/s)。流れが比較的滑らかであることがわかる。同じ模型が後尾車になった場合の流れの様子を油膜法で調べた結果を図2に示す(風速 28 m/s)。運転席窓の中央寄りにはく離領域があることがわかる。

2.2 分割・併合のできる新幹線電車

今後建設される新幹線路線の一部においては、現行新幹線に比べて短編成で、かつ分割・併合のできる電車が運行されることも予想される。現在の新幹線電車の先頭部形状は分割・併合を行うのに適していないので、形状変更が必要である。この時、その先頭部は現行のものに比べて鈍い形状にならざるを得ない。車両局設計課提案の二つの先頭部形状に対して、

- (1) 先頭部および後尾部形状が空気抵抗に及ぼす影響;
- (2) 2編成列車の連結部(先頭部どうしが向かい合って連結している部分)が空気抵抗に及ぼす影響;

を調べるため、2両編成の列車に対して固定地面板法を用いて風洞実験を行った¹⁾(模型:縮尺1/30, 風洞:鉄道技術研究所地盤・防災研究室所属, 吹出口 0.8 m × 0.8 m)。

一般に鉄道車両の風洞実験においては、地面の模擬方法あるいは列車長と断面形状代表寸法との比が非常に大きいこと等、鉄道固有の難しい問題が伴う。本実験では、実車の空気抵抗のデータの蓄積がある現行新幹線の模型についても風洞実験を行い、その空気抵抗を基準として実験値を評価することにした。

試験の結果、先頭部形状を少し変更しても、先頭車、後尾車の空気抵抗はあまり変化しないこと、また、2列車連結部の空気抵抗は、現行列車の空気抵抗を求める計算式中の列車長を約1車両(25m)分長くとる

図3 分割・併合のできる新幹線電車1/30模型の連結部付近における流れ
実験条件 空気, 大気圧, 常温, 約4 m/s, 車両幅0.113 m

ことと同等であること等がわかった。

2列車の連結部付近の流れを図3に示す(風は右方より)。流れの可視化は白色煙発生装置(イギリス T. E. M Engineering 社)を用いて行った。二つの列車の先頭部で形づくられる‘窪み’部分の流れの様子がわかる。

2.3 浮上式車両

現在、国鉄が‘高速性’および‘低公害性’を目標として開発している浮上式鉄道は、車両側に超電導磁石を搭載し、地上側に敷設した推進コイル(案内も兼用)に電流を流すことによって車両を推進させ、地上側の浮上コイルに誘起された電流による磁場と超電導磁石との相互作用により浮上させるという‘誘導反撥型磁気浮上’方式である。宮崎県日向市近くに延長約7 kmの実験線を建設し、昭和54年12月に ML 500 と称する実験車両(単車)により速度517 km/hをだすことに成功している。その後、ガイドウェイを逆T形断面からU形断面に改造し、3両まで連結可能な実

験車を用いて、実験を継続している²⁾。実験車両を図4³⁾に示す。

浮上式車両の理想的な空力特性は、六分力(揚力, 抗力, 横力, ピッチング・モーメント, ヨーイング・モーメント, ローリング・モーメント)の絶対値がすべて0に近く、かつ空力的に安定である(姿勢が変化した時、元に戻ろうとする性質がある)こと——あるいは空力的不安定性が小さいこと——である。

今までの走行実験結果の解析から、実験車両の空力特性は、かなりわかってきた。車体表面の流れがどのようなになっているかを把握するために、実車表面の圧力分布を測定するとともに、油点法による流れの可視化を行った。実験車 MLU 001 が前進走行した時の先頭部付近の油点の軌跡の例を図5に示す。図6は油点の軌跡を一つの図にまとめたものである⁴⁾。

実験車 MLU 001 の空力特性を調べる風洞実験(模型: 縮尺1/20, 風洞: 鉄道技術研究所)に際して、車両後尾部の流れをタフト法により調べた(図7)。後尾部車体上面の流れの様子、およ

図5 MLU 001 先頭車に付けた油点の動き

図4 宮崎実験線で走行実験を行っている磁気浮上車 MLU 001 の2両連結時の側面図³⁾

図6 MLU 001のまわりの流れ線図⁴⁾

びガイドウェイ面における流れの様子が見える。この風洞実験の目的は、模型と実車に働く力および車体まわりの圧力分布等を比較して、固定地面板法で行う風洞実験の問題点を把握することである。

3. む す び

鉄道車両に関連した空気力学的現象をより明確に把握するため、‘流れの可視化’を行った最近の二、三の例について述べてきた。このほか、着雪防止対策に関連して実車の車体表面の流れを油点法で調べた例⁵⁾ 等がある。風洞実験あるいは現車試験において、タフト法、油膜法、油点法等比較的簡易な方法を用いているのが現状である。

本稿をまとめるに際して、口絵写真2と図2の写真を提供して頂いた国鉄車両局設計課およびその風洞実験を担当された川崎重工業(株)車両事業部の関係各位に感謝の意を表す。また、図5、図6の現車試験を実施するとともに、図3、図7の風洞実験で協力して頂いた同僚に感謝の意を表す。

文 献

- 1) Ozawa, S., Tsuchiya, J., Matsuda, K., Wind Tunnel Investigation of Aerodynamic Drag of Future Shinkansen Train with Modified Nose Configuration, Quarterly Reports of RTRI 23, 4 (1982) 189
- 2) 京谷好泰, 超電導磁気浮上車の現況, 機械の研究, 34, 3 (1982) 1

(a)

(b)

図7 MLU 001の1/20模型後尾部付近の流れ

実験条件 空気, 大気圧, 常温, 30 m/s, 車両幅 0.150 m

撮影条件 ニコン F2, 43~86 mm (43 mm 相当)/ F3.5, ネオパン SS, F3.5・1/60 s
撮影距離 1.5 m(a), 2 m(b), 照明 カラー
用 400 W×2, 現像 ミクロファイナ