高速列車における空力制御*

増 永 進^{*1}, 渡 部 英 夫^{*2}, 小 濱 泰 昭^{*2}

Aerodynamic Control of High-Speed Train

Susumu MASUNAGA, Hideo WATANABE and Yasuaki KOHAMA^{*3}^{*3} Institute of Fluid Science, Tohoku University,
2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi, 980-8577 Japan

Speeding up of a high-speed train has been tried by means of reducing its weight, streamlining its shape, and decreasing its frontal project area. But the reduction of weight decreases the adhesion force of driving wheels to rails. So, too much reduction in weight causes slipping of the driving wheels, and the maximum speed of the train is limited to some extent. In this research we try to use the aerodynamic down-force, which is utilized widely for a racing car, to compensate the decrease in the frictional force between the driving wheels and the ground surface caused by reducing the car weight. Wind tunnel test with using a head-coach model is performed. The wind tunnel is provided with a moving-belt equipment. The down force is created in the space between the bottom surfaces of bogies and the moving belt, and is controlled by changing the shapes of the bottom surface of bogies. Lift and drag of the model, as well as velocity distributions under the model, are measured.

Key Words: High Speed Train, Head Coach Configuring, Bogie, Down Force, Drag, Wind Tunnel Test

1. 緒 言

鉄道車両の軽量化は、形状の流線型化や断面積の縮小と並んで、走行エネルギーの節約および加速性能の向上に有効な手段である。しかし、車両の大幅な軽量化は、車輪とレールの間の粘着力低下を招く。粘着力とは車輪とレールの間の摩擦力であり、垂直荷重と粘着係数との積により決まる値である⁽¹⁾。車両を軽量化することにより垂直荷重が減少し、粘着力の低下が起こる。粘着力が列車の走行抵抗に等しくなると車輪の空転が起こり、それ以上に速度を上げることができなくなる。

そこで本研究では、車両の軽量化に伴う粘着力の低下を補うために、自動車、特にレーシングカーに採用されているダウンフォース(空力学的に発生させた負の揚力)を利用することを提案し、その効果を検証するために風洞実験を行った。実験には先頭車両模型を用いた。

自動車におけるダウンフォースの主な発生源は、車両上部に取付けられたウイング及びベンチュリ効果を利用した車両床下である⁽²⁾。列車の場合にも屋根上に空力部品を取付けてダウンフォースを発生させ、粘着力の増強に利用できると考えられるが、本論文では、まず床下流の制御を目的として、列車床下と線路面との間にできる空間を台車の底面を利用してノズル形状とし、そこに発生する低圧による吸引力によりダウンフォースを発生させる。

実機では、先頭形状の流線型化や側面の平滑化によって空力性能の向上が図られているが、床下(そこで発生する空力抵抗は列車全抵抗の50%を占める)および屋根上への対策が残されている⁽³⁾。従って、上に述べたような台車床下部分のノズル化は、ダウンフォースが得られる他に、床下の平滑化により空力抵抗が大幅に軽減されるという利点も考えられる。

本研究では、台車底面の形状を種々に変化させて車両の空力特性を測定し、それらの効果を比較することによって台車の最適な形状について検討した。また、床下流れの側方への流出を抑制して、後続台車部分におけるダウンフォース発生効果の劣化を防止することを

* 原稿受付 2000年4月27日。

^{*1} 富士重工業(株) (☎181-8577 三鷹市大沢3-9-6)。^{*2} 正員, 東北大学流体科学研究所 (☎980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1)。

E-mail: kohama@ifs.tohoku.ac.jp

目的として、車両下部に側板を設け、その形状及び配置を変えて実験を行い、車両の空力特性との相関を究明した。

2. 主な記号

- A : 車体の前面投影面積 [m^2]
 C_D : 抗力係数 $\left(= D / \left(\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A \right) \right)$
 C_L : 揚力係数 $\left(= L / \left(\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A \right) \right)$
 C_P : 圧力係数 $\left(= (p - p_\infty) / \left(\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 \right) \right)$
 D : 抗力 [N]
 L : 揚力 [N]
 ℓ : 代表長さ [m]
 p : 圧力 [Pa]
 p_∞ : 主流の静圧 [Pa]
 Re : レイノルズ数 $\left(= \frac{U_\infty \ell}{\nu} \right)$
 U_∞ : 主流速度 [m/s]
 ν : 空気の動粘度 [m^2/s]
 ρ : 空気の密度 [kg/m^3]

3. 実験装置及び実験方法

3・1 風洞及び地面模擬装置 実験には東北大学流体科学研究所附属低乱風洞実験室の低乱熱伝達風洞⁽⁴⁾を、測定部を開放型にして使用した。地面の模擬は、移動地面板(ムービングベルト)法によって行った。

図1及び図2に、測定部の概略とムービングベルト前縁部における境界層吸込み装置の大略を示す。風洞のノズル(図1①)吹き出し口は対辺距離800mmの正四角形で、測定部長さは1435mmである。地面模擬に用いるムービングベルト平坦部の寸法は、幅800mm、長さ1000mmである。座標系は図1に示す通りで、 x , y , z の原点は各々ムービングベルト平滑面の始点、風洞中心、ベルト表面である。

3・2 列車模型 列車模型を図3に示す。模型の大きさは、ムービングベルト平坦部の寸法を考慮し、現行の300系新幹線(“のぞみ”)車両の約1/30とした。模型は車体と台車から成り、どちらも木製である。車体寸法は、図3(a)に示すように長さ860mm、幅115mmで、台車を含めた高さは115mmである。先頭形状は楔形である。列車の駆動力は、レールと車輪の粘着力によって伝達されるので、実際には車輪及び車軸を取り除くことは不可能であるが、ここでは、台車底面の形状変化の影響のみに着目するために模型を簡略化して車輪を省略した。更に、車軸が台車底面のノズル喉部に当

Fig. 1 Experimental setup

Fig. 2 Boundary-layer suction

たる部分に納まるように考慮して台車を設計した。また、種々の補器は、床下平滑化の観点から、床下に吊り下げるのではなく、車体底面より上に配置することを想定している。台車は車体から取り外しが可能であり、その台車部分を交換することによって車両底面の形状を種々に変化させる。また、車体側面には側板が取り付けられるようになっている。側板は厚さ1mmのアルミニウム板である。

3・2・1 台車の形状 図3(c)に台車部の形状を示す。台車A~Dの形状は、本研究で使用した風洞⁽⁴⁾を設計する際に用いられた収縮ノズルの式によって求めた。この台車形状の算定式は、図3(c)に記した座標系を用

Fig. 3 Model

いて次のように表される。すなわち

$$0 \leq \xi \leq \xi_i \quad \text{では} \\ \eta = (H_1 - H_2) \frac{(\xi/X)^3}{(\xi_i/X)^2} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\xi_i \leq \xi \leq X \quad \text{では} \\ \eta = (H_1 - H_2) - (H_1 - H_2) \frac{(1 - \xi/X)^3}{(1 - \xi_i/X)^2} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 ξ は台車形状変化開始位置からの主流方向の変位、 ξ_i は(1)式と(2)式で表される曲線の接続点の位置、 η は車体底面からの高さ方向の変位で、鉛直方向下向きが正である。 H_1 は地面から車体底面までの高さ、 H_2 は地面から台車最下端までの高さで、ここではそれぞれ $H_1=20\text{mm}$ 、 $H_2=10\text{mm}$ とした。 X は、台車形状変化開始位置から台車最下端までの主流方向(ξ 方向)の長さである。

台車先端から最下端までの形状を(1)、(2)式より求め、それより後方の形状は、前方の形状と最下端において対称となるようにした。これは、列車では進行方向が往路と復路で反転することを考慮したものである。表1に台車A、B、C、Dの X と ξ_i/X の値を示す。これらのほかに底面が平らな台車も用意した。

台車底面には静圧測定用の直径1mmの小孔を、中心線に沿って10mm間隔で設けた。

3・2・2 側板の形状及び配置

側板の形状と配置を図4に示す。各側板の網掛け部分は、側板部における車両床下の形状を示している。前方及び後方台車部分の側板をそれぞれ記号FおよびRで表わし、下付き文字L、Sにより側板の長(L)、短(S)を表わす。なお、前

Table 1 Shape parameters of bogies

	A	B	C	D
X (mm)	120	120	80	80
ξ_i/X	1/5	1/2	1/5	1/2

In the case of

- * Front bogie lacking side plates: F_N
- * Rear bogie lacking side plates: R_N
- * Lacking wholly side plates: N

Fig. 4 Side plates

方あるいは後方台車部分に側板がない場合をそれぞれ F_N 、 R_N とし、側板が全く付いていない場合を N 、側面全体に渡って長い側板が付いている場合を L とする。これらの形状と配置の組み合わせにより、一つの台車形状について10種類の条件設定が可能である。なお、側板の下端は台車底面の最下端から5mm下方(地面から5mm上方)とした。

車体後端には、模型下流での急激な流れの変化を防止する目的で、後尾部ダミー模型(図1中の④)を設置した。この後尾部ダミーの形状は先頭形状と同一である。

3・3 実験方法

図1に示すように、車両模型③④は、先端がムービングベルト平滑面始点($x=0\text{mm}$)に、中心線が風洞中心線($y=0\text{mm}$)に各々合致するようにワイヤ(直径0.8mm)によって固定される。模型から鉛直上方に伸びたワイヤは風洞天秤⑦に取付けられ、これにより模型の支持を行うと同時に揚力の測定を行う。また、模型に取付けた支持用シャフト⑥から水平方向前方に伸びたワイヤは、風洞ノズル側方の左右に固定されたロードセル⑥に連結され、これにより抗力の測定を行う。更に模型後端から下流方向にもワイヤを伸ばし、それに張力を与えることにより模型をベルト上に完全に固定する。

台車底面の圧力は、銅管及びビニルチューブを介して微差圧計により測定される。また、気流速度の測定

Fig. 5 Velocity distribution over the moving belt

には熱線流速計を用いた。

4. 実験結果および考察

4・1 ムービングベルト上の流れ場 はじめに、ムービングベルトによる地面模擬が適切になされていることを確かめるために、ムービングベルト上の速度分布を計測した。

図5は、風洞中心線上 ($y = 0\text{mm}$) において測定した、ベルト作動及び平板境界層吸込みの有 (ON) 無 (OFF) による、ベルト上の速度分布の変化を示したものである。実験を行った主流速度 U_∞ の上限は 19m/s である。この速度は、図2に示した境界層吸込み装置の吸込み容量の制約により決めたものである。

“ベルト OFF・吸込み OFF” の場合 (+ 印) は、“固定地面板法”に相当する。この場合、下流に行くにつれて境界層が発達している。

“ベルト OFF・吸込み ON” の場合 (□ 印) は、“前縁吸込み装置付き固定地面板法”に相当する。この場合、 $x=0\text{mm}$ (ベルト平滑面始点) においては、図2に⑥で示した平板境界層吸込みの効果により、ほぼ速度欠損の無い流れとなっているが、 $x=150\text{mm}$ より下流においては境界層が発達し、 $x=900\text{mm}$ においては、先に述べた“ベルト OFF・吸込み OFF”の場合と同程度の境界層の発達が見られる。

これらに対し“ベルト ON・吸込み OFF” の場合 (△ 印) は、ベルト上流の平板 (図2中の④) 上に発達した

境界層の影響により、 $x=0\text{mm}$ では速度欠損が見られるが、下流に行ってもそれが増大する様子は見られず、 $x=900\text{mm}$ では均一な速度分布になっている。これは、ベルト作動の効果によるものである。

“ベルト ON・吸込み ON” の場合 (○ 印) は、 x のどの位置においても最も速度欠損が少なく、列車走行時における地面上の流れ場が適切に模擬されていると考えられる。

従って、以下に述べる実験は、すべて“ベルト ON・吸込み ON” の条件下で行った。なお、 y 方向については $-100\text{mm} \leq y \leq +100\text{mm}$ の範囲で速度分布に変化が見られず、一様な流れ場が形成されていた。

4・2 台車形状が車両の空力特性に及ぼす影響

4・2・1 揚力及び抗力特性 最適な台車形状の選定を目的として、はじめに側板のない状態 (添字 N) における車両の空力特性を測定した。なお、揚・抗力の無次元化に用いた車体の前面投影面積 A には、台車部分の面積は含まれていない。

図6に、台車 A ~ D を取付けた場合及び底面が平らな場合の、車両模型の空力特性を示す。各図の横軸は、主流速度 U_∞ である。

図6(a)は、抗力係数 C_D を示したもので、台車 A ~ D を取付けると、底面が平らな場合に比べ C_D が大きくなる。この C_D の増大の度合いは、台車の取付けによって車両の前面投影面積が増大する程度 (約 9.5%) を越えている。また、台車の形状によっても変化していて、前面投影面積の増大のほかにも、台車によって異なる付加的な抵抗が生ずることを示している。これについては、次節において台車底面に沿う圧力分布と関連付けて考察する。

台車 A, B, C, D について C_D の大きさを比較すると、台車 A を取付けた場合の C_D が最も小さく、次いで台車 B, D, C の順番となっている。

図6(b)は揚力係数 C_L の場合で、 C_L の符号を反転して、下向きの揚力、すなわちダウンフォースがグラフの第1象限に表示されるようにしてある。図は、台車の効果によって大きなダウンフォースが発生することを示している。台車の違いによる比較では、台車 A を取付けた場合のダウンフォースが最も大きく、B, C, D の順で小さくなっている。最も大きなダウンフォースを発生した台車 A の $-C_L$ は、底面が平らな場合の約 3.9 倍である。

図6(c)は、揚抗比 L/D を示したもので、 C_D 及び $-C_L$ の場合と同様、底面が平らな場合に比べ全ての台車形状において $-L/D$ が大きくなっている。 $-L/D$ の大きさを台車形状について比較すると、台車 A で最も大きく、

Fig. 6 Aerodynamic characteristics of the model without side plates

底面が平らな場合と比較して、 $U_\infty=19\text{m/s}$ では約3.8倍となっている。このことから、台車Aが最も空力特性の優れた台車であるといえる。

4・2・2 台車底面の圧力分布 前節に述べたような台車形状による空力特性の変化について詳しく調べるために、台車底面の圧力分布及び車両床下の主流方向速度分布の測定を行った。

図7に圧力分布の測定結果を示す。図7(a)は前方台車の、(b)は後方台車の底面における圧力分布である。

車体底面が平らな場合(+印)は、最大でも $|C_p|$ が0.1程度の、流れ方向に平坦な圧力分布になっており、図6(b)に示したように車体に働くダウンフォースは極めて小さい。

それに比べて台車A～Dでは、圧力は流れ方向に大きく変化している。流れが台車部に流入すると、はじめは台車前部におけるせき止め効果によって圧力が上

Fig. 7 Pressure distribution along the undersurface of the model

昇するが、やがて加速されて圧力が低下し、台車最下端付近で最小になった後に再び上昇する。圧力分布に見られる負圧部分の面積は、正圧部分に比べてはるかに大きく、台車部分において大きなダウンフォースが発生していることを示している。

台車A～Dのうちで台車最下端における圧力が最も低いのは台車Dの場合であるが、各台車について圧力係数 C_p の上下方向成分の積分値の比較を行ったところ、台車Aが最も大きなダウンフォースを発生していた。これは図6(b)に示した C_L の計測結果と一致する。

また、各台車とも最下端の位置(図7(a)の前方台車では $x/d=0.186$ 、図7(b)の後方台車では $x/d=0.860$)に関して圧力分布が前後対称でなく、台車後部における圧力上昇は台車前部におけるよりも小さくなっている。これにより、図6(a)の $U_\infty - C_D$ のグラフに示したように、台車の取付けによって形状抵抗が増大したと考えられる。

一方、前方台車(図7(a))と後方台車(図7(b))の C_p の変化を比較すると、台車A～Dの全ての場合において、後方台車における C_p の振幅が前方台車のそれより小さくなっている。これは、前方台車と後方台車とで床下における流速が違っているために生じたものと考えられる。

Fig. 8 Velocity distribution in x -direction

4・2・3 車両床下における主流方向速度分布 車両床下における主流方向速度分布の、台車による変化を図8に示す。測定位置はベルト面より6mm上方($z=6\text{mm}$)である。

前方台車部分と後方台車部分での流速を比較すると、全ての台車において後方台車部分の流速が前方台車部分におけるより小さくなっている。このような前後の台車部分での流速の相違は、流れの側方への流出によって生ずるもので、それによって図7に見られるような、前方台車(図7(a))と後方台車(図7(b))との底面における圧力分布の違いが生じたものと考えられる。

4・2・4 台車の最適形状 ここまでの実験結果を踏まえて、台車の最適形状について考察する。

台車の形状変化部分の長さ X が等しい台車 A と B($X=120\text{mm}$) 及び C と D($X=80\text{mm}$) をそれぞれ比較すると、表1に示したように、形状変化開始点からノズル形状を定める接続点までの距離(ξ_i)の X に対する比、すなわち ξ_i/X が、台車 A, C の方が台車 C, D より小さく、凸部の面積が大きくなっている。これらの台車を取付けた場合の $-L/D$ を比較すると、図6(c)に示したように、台車 A, C の方が大きく、空力特性が優れている。従って、接続点は形状変化開始点に近い方がよい。

また、 ξ_i/X が等しく X の異なる台車 A と C, B と D を取付けた場合の $-L/D$ を、図6(c)に基づいてそれぞれ比較すると、 X の大きい台車 A, B の場合の方が X の小さい台車 C, D の場合よりも大きな値となっている。このことは台車の形状変化部分を主流方向に長くした方が空力特性がよくなることを示している。

以上のことより、空力特性の優れた台車は、凸部の面積が大きく、かつ形状変化部分が主流方向に長いものであると考えられる。

4・3 側板による車両の空力特性及び側方の流れ場の変化

4・3・1 側板による空力特性の変化 前節において最も空力特性の優れていた台車 A について、床下流

Fig. 9 Change of the aerodynamic characteristics with side plates

れの側方への流出を抑制することによって更に空力特性を向上させることを目的として、側板を取付けた実験を行った。実験結果を図9に示す。横軸下の記号の意味は、図4(3・2・2節)に示した通りである。図9では、側板の長さの和が短い順番に左から並んでいる。

抗力係数 C_D について見ると、車両底面が平らな場合と側板がない(N)場合が同程度で最も小さく、前方あるいは後方台車部分のどちらか一方だけに側板を取付けた場合に若干大きくなり、前後ともに側板を取付けた場合は更に増加する。その理由としては、側板の付加による摩擦抵抗の増加も考えられるが、この影響は平板の摩擦抵抗に関する理論⁽⁵⁾から見積ると非常に小さく、側板を設けたことによる床下流れの変化によるものと考えられる。

側板を付けた各車両の $-C_L$ を側板なし(N)の場合と比較すると、 $-C_L$ に増加が見られるのは後方台車部分に短い側板が付いている場合、すなわち $F_N-R_S, F_S-R_S, F_L-R_S$ の三種類の場合だけである。最も $-C_L$ が大きいのは F_N-R_S のときであり、Nの場合と比べ約30%の増加が見られる。

次に揚抗比 L/D の比較を行う。Nよりも $-L/D$ が増加しているのは F_N-R_S のときだけであり、その他の場合にはNよりも減少している。

以上のことより、最も空力特性を向上させる側板の形状と配置は、前方台車部分に側板がなく、後方台車部分に短い側板の付いた F_N-R_S であると考えられる。

4・3・2 側板のある場合の台車底面の圧力分布

図10は、台車AのN(側板なし), $F_N-R_S, F_S-R_N, F_S-R_S, L$ の各場合における台車底面の圧力分布を示したものである。

前後の各台車部分に短い側板を取付けた F_S-R_S の場合(◎印)と、前後台車に共通の側板を取付けた L (+印)の場合では、各台車底面における圧力分布はほぼ一致している。これより、側板がある場合には、前方、後方台車部分ともに底面の圧力分布は、側板長さに依存しないことがわかる。

Fig. 10 Change of the pressure distributions with side plates

側板なし(N, ○印)と F_N-R_S (△印)を比較すると, 前方台車部分では違いが見られないが, 後方台車部分では, 最下端位置である $x/d=0.860$ より下流において F_N-R_S の C_p が小さくなっており, $x/d=0.9$ 付近において最小となっている. その結果, 図9に見られるような C_L の差が生じるものと考えられる. また, F_N-R_S では C_p の最小値が前方台車と後方台車でほぼ等しく, ダウンフォースが前・後方台車に均等に作用していることが推察できる. 一方, 後方台車最下端位置($x/d=0.860$)に関して圧力分布の前後の非対称性が大きくなっており, そのためNよりも抗力も増大している. しかしながら, 揚力への効果のほうが大きく, 結果として $-L/D$ が増大し, 性能が向上している.

4・3・3 車両側方における流れ場 図11～13は, 台車Aの側板N, F_N-R_S , Lの各場合における, 車両側方の速度ベクトルの分布を示したものである. F_N-R_S は, 側板を取付けることによりNよりも空力特性が向上した場合で, Lはそれより低下した場合の分布である.

測定面は, 前方及び後方台車底面の最下端位置(それぞれ $x/d=0.186$ 及び 0.860)における $y-z$ 平面である. 図において, 黒の実線は車両を表し, 点線は側板を表す.

図11のNの場合には, 台車床下から側方の上方に回り込むような流れが見られる. これは各台車前面部分における高圧域からの側方への流れであると考え

られる. 図10に示したように, 後方に比べ前方台車部での圧力が高いため, 流出速度も前方台車側の方が大きくなっている.

F_N-R_S の場合, 図12(a)に示す前方台車側方においては, Nの場合(図11(a))とほぼ同様の流れ場となっている. 一方, 後方台車側方(図12(b))においては, 台車床下に向かう流れが見られる. これは, 側板があるために台車前面部の高圧領域からの側方への流れが抑制されるためと, 最下端付近の低圧領域に側方から吸引される流れが生ずるためであると考えられる.

図13のLの場合には, 側方に強く大きな渦が形成されている. この渦は, 下流に行くに従って領域を拡大するとともに, その中心は車両側面から遠ざかっている. これは, 鈍い物体の先端から発生する首飾り渦に類似の渦で, 側板が車両先頭まで延びていて, かつ台車のために床下通路が狭められて, 車両先端下部の形状が角柱に近い鈍いものになっているために発生すると考えられる. 他の側板配置においても, 前方台車部分に側板を取り付けた場合にはこのような渦の発生が見られた. 従って, 前方台車部分に側板を取り付けた場合は, 車両周りの流れ場が大きく変化し, 走行中や擦れ違い時の走行安定性に悪影響を及ぼすことが予想され, 逆効果であると考えられる.

4・4 実車への適用についての考察 本実験結果を実車に適用する際に問題となるのは, 模型と実車のレイノルズ数の違いである. 実車の定常走行時のレイノルズ数は, 細長い物体の臨界レイノルズを越えていて, 抗力係数は走行速度の範囲内では一定である. 本研究における最高主流速度は, ノズル境界層吸込み装置の制約から $U_\infty=19\text{m/s}$ である. このときの後尾部ダミー模型を含めた車両長さ($\ell=1.01\text{m}$)に基づくレイノルズ数は, $Re=1.39 \times 10^6$ ($\nu=13.8 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, 実験時の気流温度 5°C)で, 井門ら⁽⁶⁾を参照すればこの値は臨界レイノルズ数を僅かではあるが越えている. また, 図6によれば, 本実験範囲における車両の空力特性はほぼ一定で, 本実験結果の実車への適用が可能であると考えられる.

ここでは先頭列車一両について, 車両底面が平らな場合と比較して考える. 実車の最高速度を 300km/h とする. 最も大きなダウンフォースを発生した台車A, 側板 F_N-R_S を装着した車両の揚力係数 C_L は -0.493 であり, 車両底面が平らなときのそれは -0.095 である. よってその差は $\Delta C_L=-0.398$ となる. これより 300km/h での走行時に得られるダウンフォースを求め, 可能な軽量化の度合を求めると, 車両重量の約 4.6% となる.

Fig. 11 Flow field beside the model with bogie A and side plate N

Fig. 12 Flow field beside the model with bogie A and side plate $F_N - R_S$

Fig. 13 Flow field beside the model with bogie A and side plate L

5. 結 言

高速列車で車両軽量化を行う際に問題となる粘着力の低下を補うために、列車床下の空間を台車部分においてノズル形状とし、そこに発生する低圧による吸引力、すなわちダウンフォース(負の揚力)を利用することを考え、風洞実験を行った。得られた主な知見は以下の通りである。

1. 空力特性の優れた台車形状は、主流方向長さが長く、かつ凸部の面積が大きい形状(台車A)である。
2. 最も有効な側板は、後方台車部分のみに短い側板(台車部分と同じ長さ)がついた $F_N - R_S$ である。一方、前方台車部分に側板を取り付けると、空力特性の向上が得られないばかりか、車両側方の流れ場が大きく変化し、走行中や擦れ違い時の走行安定性に悪影響を及ぼすことが予想される。
3. 空力特性の向上に最も効果の大きかった台車A、側板 $F_N - R_S$ を装着した車両の揚力係数をもとに、車両底面が平らな場合と比較して実車での可能な軽量化の度合を求めたところ、その大きさは車両重量の約4.6%であった。

なお、本研究においては先頭車両についてのみの研究を行ったが、実用化のためには更に連結車両に関する研究が必要であると考えている。

文 献

- (1) 小田和裕, 高速車両の最近の技術動向, 日本航空宇宙学会誌, 第42巻, 第490号(1994), 639-650頁。
- (2) Takagi, M., Research on vehicle aerodynamics in Nissan, *Proc. of 4th KSME-JSME Fluids Eng. Conf.*, (1998), pp. 737-740.
- (3) 高速列車の開発と空力問題, 流れの計測, 第12巻, 第16号(1995), 26-32頁。
- (4) 伊藤英寛, 他13名, 東北大学高速力学研究所附属気流計測研究施設低乱流伝達風洞設備および風洞性能について, 東北大学速研報告, 第44巻(1980), 93-151頁。
- (5) Schlichting, H., *Boundary-Layer Theory*, 7th Ed., (1955), pp. 636-647, McGraw-Hill Inc.
- (6) 井門敦志, 福田傑, 種本勝二, 高速車両の空気抵抗とその低減に関する風洞試験, 鉄道総研報告, 第9巻, 第1号(1995), 37-42頁。