10 蛍光タフトグリッド法による自動車の後流の可視化

日本自動車研究所 湊 清之[○], 鬼頭 幸三・
東大生研 小林 敏雄[・]

Flow Visualization of the Wake behind a Road Vehicle
using the Fluorescent Taft Grid Method

Kiyoyuki MINATO^{*}, Kozo KITOH^{*}
Toshio KOBAYASHI^{**}

Recently the high performance of the road vehicle in high speed including the improvement of its fuel economy is strongly desired. In this paper the effect of rear body shape on the wake structure behind the vehicle and on its aerodynamic characteristics under a blockaged test section is clarified, considering that the aerodynamic characteristics of the vehicle strongly depends on the condition of the wake. Three different rear body shapes, with the same front and center body shape, are used. The flow condition in the wake is observed by the fluorescent taft grid method. Total pressure distributions in the wake are measured. The relations between the rear body shape and the wake structure are also discussed.

1 まえがき

車両の高速時における高性能化とあわせて燃費性能の一層の改善が強く望まれている。このため自動車の空気力学的特性の精密な把握が要求されつつある^{(1)・(2)・(3)}。一方、経済、社会の多様化にともない交通需要が増大し、高速道路網が急速に延伸されている。これらの高速道路は、その多くがトンネル等が必要な複雑な地形変化をもっており、トンネル内を走行する車両、特に大型車から排出される排気ガスの換気が問題となってきた^{(4)・(5)}。このため換気性能に直接関連する車両の持込み風量と換気システムのあり方の検討が要望されている^{(6)・(7)}。

一般に自動車に作用する空気力は風洞実験から求められるが、上述の背景の下に、より一層の精密な空力試験法の確立が必要であり、空気力の計測値に及ぼす閉塞比、地面効果、使用風洞の相違、車体姿勢などの影響の詳細な解明が望まれている^{(8)・(9)}。

本研究では、測定断面積が比較的小さな風洞において求められる空力特性値に及ぼす諸要因のうち閉塞比に注目して、閉塞比が零の場合の抗力係数の予測方法の問題点を明白にすることを目的とする⁽¹⁰⁾。まず第一段階として本報では前部形状が同一で後部形状が異なる3種の模型車を用いてそれらのCd値と閉塞比、後流における総圧分布さらには剥離領域の大きさと閉塞比との関係を明らかにするとともに、あわせて後流の様子を蛍光タフトグリッド法によって明らかにしている。

* Japan Automobile Research Institute, Inc. :Tsukuba-City, Ibaraki 305

** Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo : Minato-ku, Tokyo 106

2 実験装置および方法

使用した風洞⁽¹⁰⁾はゲッチング型風洞で、風速範囲は0~50 m/s, 主流の乱れは0.2%以下の性能をもつ。測定部は風洞吹口下辺部に主流に平行に地面板を置き、供試体の上面部と左・右両側面部を長さ1200mmの平行壁で覆っている⁽¹⁰⁾。供試車両としては前部形状が同一で後部形状が異なる模型車、セダン、ステーションワゴンおよびクーペを用いている。供試車両の縮尺比としては1/10, 1/20 および1/30を選んでいる。また測定部の閉塞比は1~30%であり、あわせて測定部開放の場合の実験も行なっている。図1に3種の供試車両の概略図を示す。各供試車両に働く空気力の検出には3分力ロードセルを用いている。なお実験時における風速はレイノルズ数(Re数)が一定となるように選んでいる。本報における風速範囲は10~30 m/s, $Re = UL/\nu = 2.5 \times 10^5$ である(U: 一様流速 L: 車両軸距, ν : 動粘性係数)。後流の逆流(剥離)領域はタフトグリッドを流れ方向にトラバースし、タフトの動きを観察することにより後流の逆流位置を決定している。後流における総圧分布は受感部が主流方向に置かれた全圧管(外径3mm)を用いて供試車両後方の各断面を計測している。計測は全圧管の測定孔と流れの方向とのなす角度が最大 $\pm(20^\circ \sim 30^\circ)$ の範囲に限定しており(可視化により確認)、各点の総圧はスキャン装置をパソコンで制御し、計測・解析している。本報で用いた可視化手法は蛍光タフトグリッド法⁽¹¹⁾であり、蛍光染料で染色された極めて細いナイロン単繊維のタフトに紫外線を照射してタフトから発生する蛍光をタフトの動きとしてとらえる方法である。本報で用いたタフトはナイロンより糸(直径:0.5mm, 長さ:5mm)であり、またグリッドに用いた材料は釣り糸(直径:0.5mm)で、間隔は10mmである。なおタフトはグリッド交点に取り付けられた連結リングに取り付け、タフトの回転を容易にしている。

Fig. 1 Car models

Fig. 2 Effects of body shapes on Cd

Fig. 3 Length of separated area and blockage

3 実験結果と考察

図2に3種の供試車両の抗力係数におよぼす閉塞比の影響を示す。各供試車両とも閉塞比が4~5%まではその影響を受けず、Cd値はほぼ一定値を示している。一方、閉塞比が7~8%を過ぎると境界壁の影響を強く受け、Cd値が急激に増加している。また車体

後部形状により閉塞比の影響が異なる傾向を示していることがわかる。特に閉塞比が大きい場合にはこの傾向が著しくなる。

図3に3種の供試車両後方の剥離領域の長さとの関係を示す。ここで剥離領域とは逆流が存在する領域を意味する。なお代表長さとして車体幅を用いて剥離領域の長さを無次元化している(車体幅:車長=1:2.56)。図より各車体形状とも閉塞比が7%以上の場合、剥離領域の長さが急激に長くなるのがわかる。この計測では誤差は車長に対して約5%である。厳密にはこの種の簡易計測による剥離領域の長さだけでは剥離領域の大きさを表わすことは困難であるが、閉塞比の増加によるCd値の増加が後流の剥離領域の大きさと強い相関をもつ。

図4-1~3にそれぞれセダン、ステーションワゴン、クーペの場合について閉塞比15%および測定部開放の場合における車両の後流の総圧分布の計測結果($X/W=1.0$ X:車両後端からの距離, W:車両全幅)を示す。図から車体後部形状および閉塞比によって後流の総圧分布の様子が大きく変化することがわかる。閉塞比15%の場合、セダンではトランクルーム後方に、ステーションワゴンでは後面窓ガラス後方中央部に渦の中心の存在が認められる。またクーペでは特有の1対の縦渦が認められる。測定部開放の場合(閉塞比の影響が無い)において閉塞比15%の場合と比較して、各車体形状とも総圧勾配がややゆるやかなことがわかる。すなわち高閉塞比の場合には当然ではあるが、主流が増速されるため、総圧勾配が大きくなる。

Fig.4 Total pressure contours in the wake

図5に一例として $X/W=1.0$ について、閉塞比15%の場合と測定部開放の場合の各車体形状における後流断面面積比(W_a/A : W_a =後流断面積, A =模型車の前面投影面積)とCd値の関係を示す。ここに後流断面積は等値総圧(C_p)曲線で囲まれた面積あるいは同曲線と地面盤との間の面積で定義する。図では $C_p=0.4, 0.6, 0.8$ の場合が図示されている。図からCd値の大きさと後流の

Fig.5 Cd and cross sectional area of wake

断面積比の大きさとの間に対応があることがわかる。また閉塞比15%の場合各模型車間のC d値の大きさの差異と後流断面積比の大きさの差異との間に強い相関があることがわかる。

図6に蛍光タフトグリッド法によって測定部開放の場合と閉塞比15%の場合におけるクーペの後流を可視化した一例を示す。測定部開放および閉塞比15%の場合、一對の縦渦が顕著に認められる。閉塞比15%の場合、測定部開放の場合と比べて縦渦の領域が広がっていること等後流の様子の差異がわかる。

Fig. 6 Flow Visualization in wake by Fluorescent Taft Grid Method (Coupe type)

4 あとがき

本報ではセダン、ステーションワゴン、クーペの3種の模型車についてそれぞれC d値、総圧分布、逆流領域の長さ等を含めた後流構造と閉塞比との関係を調べた。その結果、閉塞比7~8%以上の高閉塞比下ではC d値、車両の後流の大きさが閉塞比によって変化すること、またC d値の大きさと後流断面積比の大きさとは強い相関をもっていることがわかった。すなわち高閉塞比下におけるC d値の修正については車両の後流構造をも考慮しなければならないことを明白にした。

今後、種々の閉塞比下において車両の後流構造を詳細に明らかにすることによって閉塞比の小さい場合の抗力係数の予測方法の基礎データを蓄積していく予定である。

5 文献

- (1) Cogotti, A, SAE paper, 870718(1987)
- (2) Ahmed, S. R. et al, Trans. of the ASME, J. Fluid. Eng, 105, Dec. 1984, pp. 429-434
- (3) Buchheim, R. et al, SAE paper 810185(1981)
- (4) 伊吹山, 今田, 土木研究所報告, 157(1982)
- (5) 大橋他, 日本機械学会論文集(B編), 48-436(1982), pp. 2492-2500
- (6) Gouse, S, et al, Trans. of the ASME, Ser. D, 91-4(1969-12), pp. 694-706
- (7) 大橋他, JARI Technical Memorandum, No5
- (8) 石原, 自動車技術, 32-4(1978), pp. 267-269
- (9) 小林, 自動車研究, 1-12(1979), pp. 418-422
- (10) 湊他, 自動車研究, 10-10(1988) (掲載予定)
- (11) 佐賀他, 流れの可視化, 5-Suppl(1985), pp. 87-90