23 2チャンネルレーザドップラ流速計による 車両模型まわりの流れ計測

日産自動車㈱ 佐藤 浩^{*}、高木 通俊

Air Flow Measurement Around Passenger Car Models Using a Two-Channel Laser Doppler Velocimeter

Hiroshi Sato^{*} and Michitoshi Takagi^{*}

A two-channel LDV system is used to carry out the air flow measurements around passenger car models in a scale wind tunnel. A 2-watt argon-ion laser is used as the light source. The main optical unit and the probe head are connected by optical fiber cables. The probe head consists of a compact LDV probe, a beam expander and a focusing lens, which has a long focal length and can be traversed easily. A new type signal processor, incorporating a digital auto-correlation scheme, is employed to process the Doppler signals. Mean air flow velocities and turbulence intensities are calculated by a microcomputer. The flow measurements on the wake of car models were performed by this system. The results of the experiments show that reverse flow takes place just behind car bodies, and can clarify the difference in the flow field between the cases with and without a rear spoiler. It has been pointed out from the results that the present LDV system provides accurate flow measurements around passenger car models in scale wind tunnel tests.

1. はじめに

自動車の空力に関する研究を行う上で、車体まわりの流れの様子を知る事は重要である。従来から風洞において車体に作用する空気力を天秤で測定する一方、煙やタフト等の可視化による定性的な観察を行ってきた。最近では5孔ピトー管による車体後流や床下流れの定量的な測定^(1,2)により、抗力の発生要因に関して新たな知見が得られるようになってきた。一方車体の低 C_D 化のみならず風切り音発生メカニズムの解明などに際し、車体まわりの流れ、特に乱流域の状況を調べる必要性が生じてきた。

流れの計測にはピトー管や熱線流速計が主としてその取り扱いの簡便さのため、従来より使用されている。これらは接触測定法であるため流れに少なからぬ影響をおよぼし、また逆流を含む流れの場合にその方向の判定は困難である。さらに、温度や密度等の流体の物性値変化に伴う補正を必要とするなど、使用の際に注意すべき点は多い。

本報は、これら従来の手法に代るものとして新たに導入した光学的な非接触測定法であるレーザドップラ流速計(LDV)システムについて、その概要と実際の流れ計測の結果の例を紹介し風洞実験におけるLDVの有用性について検討を加えるものである。

2. システムの構成

当社の模型風洞にて運用している2チャンネルLDVシステムの概略をFig.1に示す。光源として出力2Wの水冷アルゴンイオンレーザを用いている。レーザ光を分光し、逆流測定のための周波数シフトなどを行ない、光ファイバに入射するまでの分光系と、散乱光から2チャンネルの電気信号に分離する受光系が、本体光学系として一つの筐体に組み込まれている。本体光学系からプローブ部までは、4本の定偏波シングルモードファイバと1

^{*}Vehicle Research Laboratory, Nissan Research Center, Nissan Motor Co., Ltd.,
1, Natsushima-cho, Yokosuka 237, Japan.

本のマルチモードファイバで連結されており、風洞内における測定位置の自由度を大きくしている。プローブ部は、既製のものでは測定距離を大きく取れないため、通常の集光レンズを取り外し、代りにビームエキスパンダと大口径長焦点レンズ ($f = 750, 1200\text{mm}$ を適宜使用) を組

Fig.1 Schematic Drawing of the LDV System

み合わせて用いた。この光学系を従来から使用している3次元トラバース装置に取り付けることで、遠隔操作で風洞内の任意のポイントを風路外から測定することが可能である。

測定点からの散乱信号は、後方散乱受光によりプローブ部でマルチモードファイバに入射され、本体光学系に伝送される。受光光学系内のフォトマルチプライヤで電気信号に変換された信号は、デジタル自己相関型の信号処理器に入力される。この処理器は従来のカウンタ型処理器に比べてノイズに強く、またFFTによるものと比べると安価である。処理器はホストコンピュータと直結し、全ての操作はソフトウェアにより制御される。処理器では信号をハードウェア的にドップラ信号から周波数データに変換した後、ホストコンピュータに転送する。周波数情報から速度データへの変換やその他の統計処理は全てホストコンピュータ内で処理される。

3. 模型風洞における流れ計測への適用

前節で述べたLDVシステムを、模型車体後流の流れ計測に適用した例を示す。測定はFig.2に示すように、ムービングベルト付き模型風洞において、3次元トラバース装置にLDVプローブ部を取り付け、風路横方向からビームを入射して2方向の速度成分の測定を行なった。なお座標系は流れ方向にY軸、鉛直方向にZ軸、スパン方向にX軸としている。トレーサ粒子は可視化を行う際に通常使用している、スモークジェネレータによる流動パラフィンの加熱噴霧粒子を用い、ディフューザ部から流れの中に混入した。本模型風洞は回流式なので、ディフューザから混入したトレーサ粒子は気流とともに風路を飛翔する。その際に、比較的粒径の大きい粒子は風路壁面や床面、あるいはメッシュに付着し、ノズルからの気流には粒径の小さいものだけが含まれている。従って、測定部においてはトレーサ粒子は

Fig.2 Schematic Drawing of the Test Section

流れに十分追従しているものと考えている。

測定対象は乗用車（セダン）の1/5スケールモデルを用い、標準形状およびリアスポイラ付きの2種類とした。実験条件は、主流速度を25m/s、ムービングベルトは動作させていない。測定位置は、Fig.3に示すように、リアバンパー端を $Y=0$ とし、 Y 方向に50mm刻みで400mm下流まで、 Z 方向は地面から10mm刻みで300mm上方までの範囲とした。1測定ポイントあたりのサンプル数は事前の検討により2000とした。

Fig.4は、2方向平均速度成分から求めた速度ベクトルである。図中、上段は標準車体の場合で、下段はリアスポイラ付きの場合である。上段のスポイラ無しの場合、全体として吹き下ろす成分が強い傾向を示している。一方スポイラ有の場合、床下からの巻き上がりを別として、車体直後から流れがほぼ平行になっている。また、車体直後で逆流が生じている様子が捉えられているが、この逆流域だけでなく、速度欠損の生じている領域の様子が両方で異なっている点についてもよく捉えられている。以上の結果は、シミュレーションによる結果⁽³⁾と良い整合性が見られる。このように従来の計測手法では測定出来なかった逆流を含む流れの測定が可能となり、現象を正確に把握することができるようになった。

Fig.5は、各速度成分の分散から算出した乱れ強さである。図中○は Y 方向乱れ成分を、△は Z 方向乱れ成分を示している。なお、乱れ強さの値は主流速度で除してその百分率で表示している。平均速度ベクトルの違いに応じ、乱れ強さの分布も、スポイラの有無で差異が生じている。スポイラの有無によらず、主流域と車体直後の速度欠損域との間に生じるせん断層付近で乱れ強さはピークを有する。上段のスポイラ無しの場合には、乱れのピークは、吹き下ろす平均流によって地面方向に輸送されるとともに拡散している。地面付近の領域は別として、 Y 方向成分、 Z 方向成分ともほぼ同様の分布形状を示しており、

Fig.3 Measuring Region

Fig.4 Mean Velocity Vectors

全ての測定領域で乱れが等方的であることがわかる。一方、スポイラ有りの場合には、車体直後で $Z=230$ 付近で生じた Y 方向成分の乱れのピークは下流にかけて減衰せずにその高さ方向の位置を維持している。すなわち $Z=250$ 付近に変曲点を有する分布形状を維持している。また、図中 Δ で示される、 Z 方向の乱れ成分の値を見ると、 $Z=250$ 付近では、 $\circ$ で示される Y 方向成分の乱れと較べて測定範囲全域で値は小さく、乱れが非等方的であることがわかる。以上のことから、リアスポイラにより車体下流域の平均速度分布が変化するだけでなく、乱れの発生が非等方的になることが明らかになった。

4. まとめ

模型風洞において、様々な流れの計測に汎用的に利用可能な新たな計測装置として、2チャンネルファイバLDVシステムを導入した。

このシステムの光学系は、通常のフリンジモード型アルゴンイオン4ビームLDVに改良を加え、光ファイバを用いて光学系本体から独立した小型グローブとしたことで、扱い易さを飛躍的に向上させることを特徴としている。また、本システムは後方散乱受光による二方向同時測定、および逆流の測定機能を持ち、3次元トラバース装置に取り付けることにより、風洞内の範囲においてはほぼ任意な位置の測定が可能である。

車両模型の速度測定に応用した結果、逆流を含む平均速度成分を捉えることが可能であるだけでなく、乱れ成分についても正確な評価が可能で、流れの、特に乱れ発生のメカニズムの解明に役立つことが立証された。

以上により、本LDVシステムは、風洞実験における流れ計測のツールとして有用であり、車体まわりの各種の流れのメカニズム解明に役立てて行くことで、今後の車両の空力特性向上に寄与することができるといえる。

参考文献

- (1) 山口一郎ほか：ムービングベルト付風洞を用いた自動車模型の床下流れの研究，自動車技術会学術講演会前刷集，No.902258，(1990)，pp.2.173-2.176.
- (2) 山口一郎ほか：ムービングベルト付風洞を用いた自動車模型回りの5孔ピトー管サーベイ，可視化情報，Vol. 10，Suppl. No.2，(1990)，pp.193-196.
- (3) 塩澤博行ほか：リア・スポイラを有する車体周りの流れの数値解析，自動車技術会学術講演会前刷集，No.911086，(1991)，pp.347-350.

Fig.5 Turbulence Intensities