

模型自動車ボディ用抗力測定装置の開発

田中誠一* 大岩秀祐** 藤原誠之*

The Development of a Measuring Apparatus for the Drag force of a Model Car Body

Seiichi TANAKA, Shusuke OIWA, Seiji FUJIWARA

ABSTRACT

Recently, improvements in the aerodynamic performance of vehicles have become important due to an increase in societal demand for advancement in the fuel efficiency of vehicles. Computational fluid dynamics and wind tunnels are generally used to investigate aerodynamic performance of car bodies such as drag force. The actual flow phenomena can be observed and measured by using a wind tunnel. The development of a boundary layer on a fixed surface influences aerodynamic performance with a model car on a fixed wall. The running situation of cars is reproduced by moving the road surface along the air flow of the wind tunnel. In this study, we developed a measuring apparatus for the drag force of a model car body which was smaller than one meter in length.

KEY WORDS: Drag force, Boundary layer, Wind tunnel, moving belt, Aerodynamic performance.

1. はじめに

近年の省エネルギーへの関心の高まりから、乗用車等の輸送機器の燃費改善の要望が強くなっており、工学教育の現場ではエネルギー分野に精通した技術者の養成が不可欠となっている。特に、全日本学生フォーミュラ大会¹⁾やHonda エコマイレージチャレンジ²⁾といった学生自身で設計・製作した車両による競技会への参加は、実践的な工学教育の手法として高い成果を上げている^{3,4)}。これらの競技車両や一般的な乗用車の開発に共通した課題として、走行中の車両ボディに作用する抗力を減らす、いわゆる空力特性の向上が挙げられ、積極的に研究が行われている⁵⁾。

車両ボディの抗力を測定する方法として、CFD(Computational Fluid Dynamics)による方法や風洞実験による方法が一般的である。CFDは風洞実験

に比べてコストを抑えられる優位性がある一方、計算精度等の問題や実際の現象を捉えられることから実質的なデータを取得するには風洞実験が優れている。風洞を用いて走行する物体に作用する抗力を測定する場合、実際の流れの状態を如何に正確に再現することが重要となる。特に自動車等では、相対的に路面は流体と共に移動するが、モデルとなる物体を固定平板上に設置して風洞実験を行う場合、モデル下部の流れが境界層によって低くなることで抗力は過小評価される。さらに、グラウンドエフェクト等の車両下面と路面との影響を正確に評価できない。そこで、回転円板やムービングベルト^{6,7)}などによって境界層を除去する必要があるが、縮小模型を用いる場合では、これらの円板やベルトを安定して高速に駆動する必要がある。そのため、これらの要件を満たす縮小した自動車模型用に特化した実験風洞は一般的ではない。

本研究では、各種競技会に出場する車両開発に活

*機械工学科、**明石高専卒業生(現 大阪大学工学部)

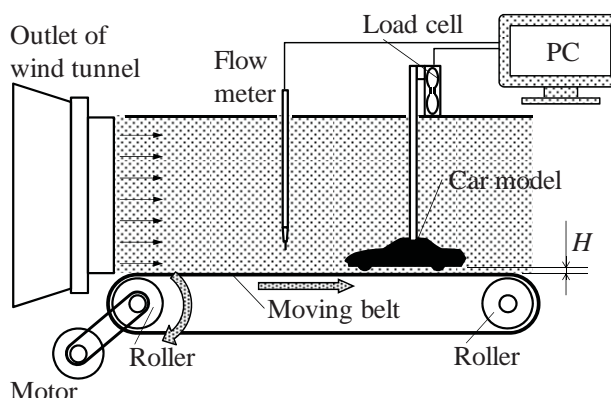


図1 ムービングベルト付き抗力測定装置の概略図

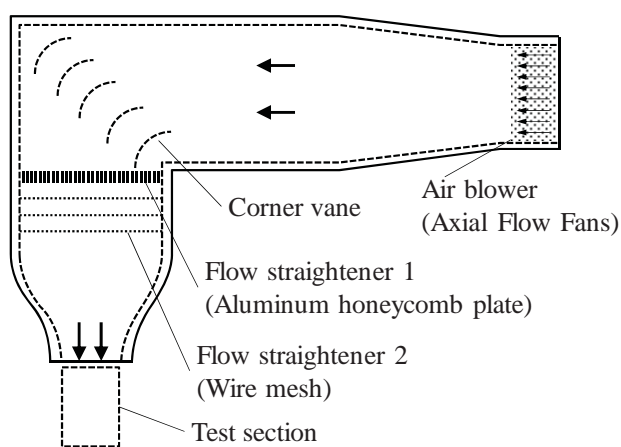


図2 風洞実験装置

用できる数十 cm 程度のモデルを測定対象とするムービングベルトを備える実験風洞装置 (図 1) を開発し、その有用性を確認した。

2. 実験風洞の開発

2・1 風洞装置

実験装置に用いた風洞装置の概略を図 2 に示す。風洞は吹出し口寸法、幅 600 [mm]、高さ 500 [mm] の開放型風洞であり、吸込み側には 1200 [mm] 径の送風機 (濱田送風 AEB-1200) をもつ。流速 3~30 [m/s] で試験が可能であり、主流の乱れ度は壁面近傍以外で 0.18 [%] 程度である。図 2 の吹出し口部の破線部に以下の抗力測定装置およびムービングベルトを設置する。

2・2 抗力測定装置

測定対象とする車両は、全高 0.8 [m]、全長 2.0 [m]、全幅 0.8 [m] とし、走行速度は各競技での走行速度を参考に 10~60 [km/h] の範囲とする。このとき、全長 L を代表寸法とした場合の Reynolds 数 ($Re_L = UL/\nu$; 流速 U [m/s], 動粘性係数 ν [m²/s]) の範囲は 3.7×10^5

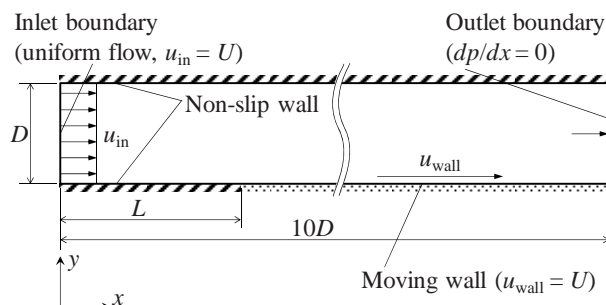


図3 ムービングベルト上流れの数値計算モデル

~ 2.2×10^6 である。風洞からの流速が 30 [m/s] の場合、模型の全長は 0.19 [m]~1.1 [m] の全長となる。測定に用いる模型を 3D プリントや NC フライスによって製作することを考慮して縮小倍率を 1/10 とした。また、このとき模型の全高、全幅から得られる等価直径を代表寸法とした Reynolds 数は 10^5 オーダーとなり、模型周りの流れは乱流となる。

模型に作用する抗力 D は、抗力係数 C_d を用いて次式で求められる。

$$D = C_d \frac{1}{2} \rho U^2 A \quad (1)$$

模型の抗力係数は、大きくとも流れの垂直方向断面と同寸法の平板の抗力係数 ($C_d = 1.1$) 以下と考えられる。したがって、模型の抗力 D は 3.8 [N] 以下となる。抗力の測定にはロードセルを用い、得られた抗力の値から測定レンジを決定した (ミネベア BCL-300GM (分解能 0.01 [g])). 模型は翼形状断面をもつストラットで、図 1 に示すようにロードセルに固定される。ロードセルはアンプを介して A/D コンバータ (National Instruments USB-6008) に接続され、出力信号は PC 上でプログラムによって抗力に計算される。風洞試験において、抗力は常に数 [%] 程度変動するため、サンプリング周波数 1 [kHz] で 5 秒間計測した平均値をとる。取得したデータは、グラフィカル言語である Labview によって作成したプログラムを用いて、簡単な操作で抗力および抗力係数へ計算可能とした。

2・3 ムービングベルト

ムービングベルトを設計するため、境界層の除去に必要なベルトの長さを求める必要がある。そこで、流れの数値解析を用いて、壁面およびムービングベルト近傍の流れを求め、風洞出口から境界層が除去されるまでの距離を計算し、ベルトの長さを決定する。

2・3・1 計算方法

数値解析モデルを図 3 に示す。流れは 2 次元非圧

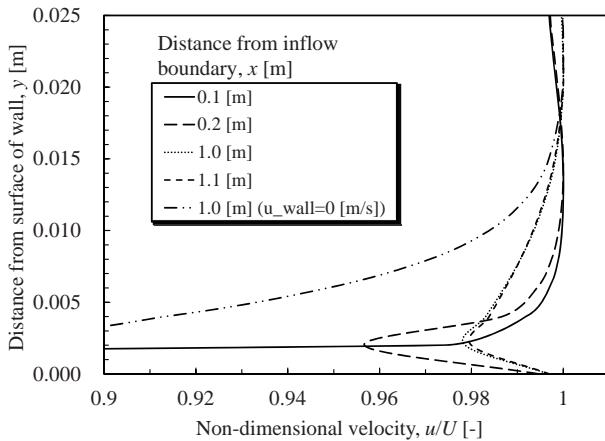


図4 移動壁及び固定壁上の速度分布

縮性流体の定常流れとし、支配方程式のモデルとして乱流モデルである $k-\varepsilon$ モデルを用いた。図3に示すように、モデルは風洞出口から抗力測定部を模した2次元流路とし、入口境界には流速 $U = 20$ [m/s] の一様流を与え、出口境界に x 方向の圧力勾配を0として与えた。斜線で示した面は流速が0 [m/s] となるすべりなし壁面境界とし、流入境界から0.2 [m] より下流の壁面はムービングベルトの区間として流入流速と等しい速度 ($U = 20$ [m/s]) で移動するすべり無しの移動壁面境界を与えた。計算格子は、壁面近傍を密にとる不等間隔の矩形格子とした。また、流体は20 [°C] の空気とした。以上の計算は汎用流れ解析ソフト ANSYS Fluent を用いて実施した。

2・3・2 最適ベルト長さの決定

数値解析によって得られた、異なる入口境界からの距離 x における壁面近傍の y 方向断面の流速分布を図4に示す。横軸に流入流速 U による x 方向無次元流速 u/U 、縦軸に壁面からの距離 y を示す。また、図4の一点鎖線で示される曲線は、移動壁面の速度を0 [m/s] とした場合の入口境界から1.0 [m] の断面の速度分布である。計算結果より、入口境界で様に流入した流れは、入口境界から0.1 [m] の下流の位置で既に数ミリ程度の厚さの境界層が発生し、ムービングベルト開始位置である $x = 0.2$ [m] で境界層は約3 [mm] まで発達している。移動壁面の速度を0 [m/s] とした場合、 $x = 1.0$ [m] の位置で境界層の厚みは11 [mm] 程に達する。これは実寸の車両では地面から110 [mm] の高さとなり、ムービングベルトを設置しなければ実際の走行状態と異なる流れ場となる。一方、移動境界であるムービングベルト上では境界層が除去され、無次元流速は凹状の分布となり、下流になる程流速分布は様に近づく。入口境界から1.0 [m] の位置では、最も低い無次元流速は0.98程度と

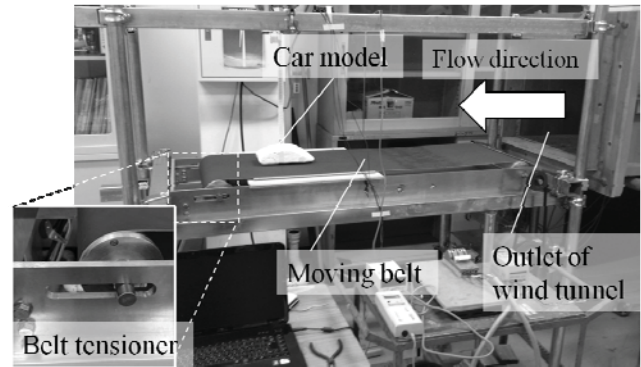


図5 製作したムービングベルトの外観

なる。したがって、ムービングベルトの区間は $x = 0.2 \sim 0.8$ [m] 程度で十分といえる。

図5に製作したムービングベルトを備えた抗力測定装置の外観を示す。ムービングベルトは、容易に入手可能なベルトコンベヤ用のベルトを用い、規格寸法の中から計算結果に最も近いムービングベルト区間が得られるものを採用した。モデルはムービングベルト端部から0.8 [m] の位置に設置し、抗力測定を行う。ベルトは駆動ローラと従動ローラによって張られ、モータの回転をプーリとVベルトで駆動ローラへ伝達して駆動される。図に示すように、従動ローラの軸を横方向に可動とすることでベルトの張りを調整可能とした。また、ベルトの振動を抑制するため、ローラ間にベルトを押し上げるように摩擦抵抗の低い板を設置した。

3. 抗力測定実験

ムービングベルトの有用性を評価するために、車両模型を用いて実際に抗力測定を行い、ムービングベルトの回転によって得られる測定値の変化を調べた。車両模型(高さ65 [mm]、幅100 [mm]、全長230 [mm])をストラットに固定し、ムービングベルトの回転状態と無回転状態について実験を行った。またこのとき異なる模型とムービングベルトの隙間を変化させて実験を行った。実験は、風洞からの流れが安定してから主流速度を風速計(日本カノマックス6311)で計測し、得られた速度に合わせてベルトの回転数を設定して抗力測定を行った。このとき、ストラットの抗力は予備実験で求めておき、得られた抗力より差し引いた。図6に異なる流速における抗力を模型-ベルト間隙間 $H = 5$ [mm] および10 [mm] の場合について示す。いずれの結果においてもムービングベルトを回転させることで、抗力が大きくなった。流速が高くなる程抗力の差が拡大することから、

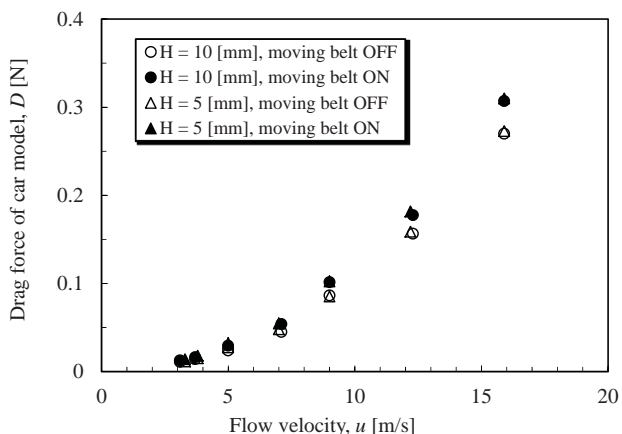


図6 異なるベルト-模型間隙間及びムービングベルト運転条件における流速と抗力の関係

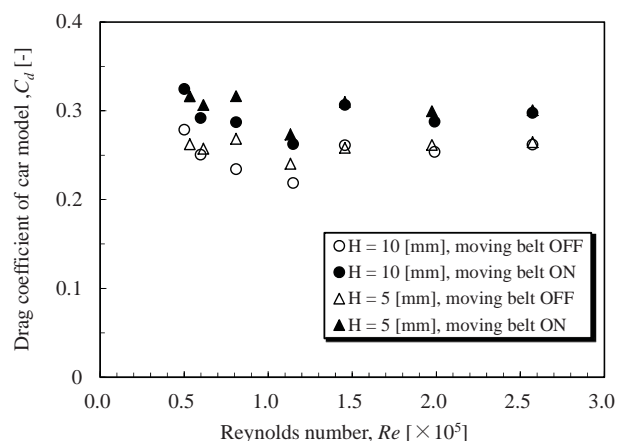


図7 異なるベルト-模型間隙間及びムービングベルト運転条件における Reynolds 数と抗力係数の関係

模型下面の流体摩擦によって抗力が増大しており、ムービングベルトによって境界層が除去されることが確認できる。図7に流れの Reynolds 数と式(1)から得られる抗力係数 C_d の関係を示す。全ての条件でム

ービングベルトを回転することで、抗力係数は高くなった。特に隙間 $H = 5$ [mm], $Re = 5.3 \times 10^4$ の場合に最大 20.6 [%]の差が得られ、ムービングベルトを駆動することでより正確な測定が可能となった。

4. おわりに

境界層除去能力を備えた抗力測定装置を開発し、自動車モデルを用いた抗力測定実験により、その有用性を示した。

参考文献

- 1) JSAE, “全日本学生フォーミュラ大会開催概要”, JSAE, www.jsae.or.jp/formula/jp/11th/eventoutline.html, (参照日 2013 年 9 月 12 日)。
- 2) HONDA, “Honda エコマイレージチャレンジ大会概要”, HONDA, www.honda.co.jp/Racing/emc/outline/, (参照日 2013 年 9 月 12 日)。
- 3) 草加浩平, “学生フォーミュラ活動を通じた人材育成：東京大学フォーミュラファクトリーにおけるものづくり教育”, 自動車技術, 65(10), pp.84-90 (2011)。
- 4) 井上祥寿, 他, “低燃費競技大会の車両製作におけるものづくり教育と効果”, 日本機械学会関東支部合同講演会講演論文集, 2005, pp.143-144 (2005)。
- 5) 例えば, 近田茂: “年鑑 6 乗用車”, 自動車技術, 67(8), pp.31-48 (2013)。
- 6) 片岡昌之, 他, “陸上車両空力特性研究の為の風洞用ムービングベルトの開発とその基本特性”, 関西支部講演会講演論文集, 2008(83), pp. 11-13 (2008)。
- 7) 染矢聡, 他, “トビウオの滑空における地面効果の影響に関する研究”, 日本機械学会論文集, B 75(758), pp.1983-1988 (2009)。