

ミニバン車の空力抵抗に関する実験的研究

An Experimental Study on Aerodynamic Drag of Mini-van Automobiles

酒井 春雄†, 渡辺 珠喜†, 吉野 智和†
Haruo SAKAI, Tamaki WATANABE, Tomokazu YOSHINO

Abstract Mini-van type automobiles are recently prevailing in Japan. However the configuration of this kind of car seems to have unfavorable aerodynamic characteristics from the viewpoint of energy resources consumption. In this paper, wind tunnel model test results of 6 mini-van and a sedan type cars are presented. Results can be summarized as 1) body configurations of mini-van cars have 23~45% larger aerodynamic drag than that of sedan car and 2) there is 18% drag difference between the largest drag mini-van and the smallest one.

1. はじめに

現在我が国の高速道路では、乗用車に限っても、一日に 300 万台もの交通量があるといわれ、排出ガスによる地球温暖化の問題はもとより、単にそのエネルギー消費量という観点からだけでも、高速時における自動車の性能向上は大切な課題であるといえる。例えば自動車の高速走行時の燃料消費の 80% 以上は空力抵抗に打ち勝つために使われており、車体の形状を抵抗の小さい、空力的に洗練されたものにするには常に追求されるべき技術課題である。

一方一時期いわゆる C_D 値として、メーカーが競ってカタログに記載していた抵抗係数は、最近では殆ど見かけなくなっており、代わって消費者の好みに合わせるという名分のもと、明らかに空力抵抗の大きい形をした車が増えている。

このような状況にあって、現在市販されている各種自動車の空力抵抗をはじめとする空力性能を定量的に実測し、客観的に比較することは重要であろう。

一般に、航空機や自動車に働く空気力の定量的な計測は技術的に極めて難しく、情報量に限界がある第三者が縮尺模型の風洞試験の計測から、正確な空力特性を算出することは殆ど不可能である。しかしその相対的比較に限れば、同じ対象について、同じ設備、装置、計測方法で試験することによって、十分その目的は達成されると考えられる。

ここでは手始めに、最近流行しているミニバン車について、国内各社から各 1 車種を任意に選び、対象を車体形状に限定して、その空力抵抗を縮尺模型の風洞試験によって調べた結果を報告する。

2. 試験設備と風洞試験

2.1 風洞

計測部の寸法が 0.6m(W)×0.6m(H)×1.5m(L)、最大風速が 50m/s の愛知工業大学堅型回流風洞を使用した(図 1)。この風洞は、縮流比が 4 と小さいため、気流の乱れ度が若干大きいものの、計測部の動圧分布の均一性は比較的よい。

今回の試験は設定動圧 980 (Pa) (風速にして約 40m/s) で実施した。

2.2 計測装置

風洞気流の動圧設定には、市販の電子マノメーターを校正して使用した。計器の指示値に、1.7% 程度の指示誤差が認められたので、これを補正した。

風洞試験における空気力の計測は、天秤と呼ばれる多分力ロードセルを用いて行われる。天秤の各分力の計測最大量を天秤容量といい、これと実際の計測量の最大値が近いほど計測精度は向上する。

天秤は極めて精巧な構造になっており高価であるが、高い計測精度が必要な風洞試験では、予め試験時の計測最大量を推測し、最適な天秤容量をもつものを設計製作して使用することが一般的である。

愛知工業大学の回流風洞では、平成 10 年度から卒業研究の一環として、天秤の設計製作を開始し、精度と線形性に優れた天秤を既に数個完成し、所有している。

今回はこのうち、予測される空気力の大きさに最も適した天秤容量を持つものを使用したので、空気力の計測精度は高く、誤差は 0.3% 程度である。

† 愛知工業大学 工学部 機械工学科 (豊田市)

天秤出力の計測は、市販のデータロガーを使用して行ったが、事前の計測精度の確認試験で、0.4% 程度の出力低下が認められた。これは多分に系統的であり、天秤の入力端子（計器側では出力端子）での印加電圧の低下が主な原因と考えられる。計器の印加電圧を低下させる要因は、計器内での配線抵抗である可能性が高いが、この計器の場合、出力端子での正確な電圧計測が難しく、今回は補正を諦めた。

2.3 供試体

供試体の縮尺は全ての車種について 1/11 とした。

模型断面積が風洞計測部に占める閉塞比は、4.5% から 5.7% で、自動車の風洞試験で常用される範囲内にある。

試験レイノルズ数は、実車が 100km/h で走行する場合のレイノルズ数に比べ桁小さく、少なくとも空力抵抗にはレイノルズ数補正を施す必要がある。

また模型表面上の境界層が層流から乱流に遷移する位置を実車に合わせるため、実車の遷移点に相当する位置に、強制遷移のためのラフネス処理を施した（図 2）。

2.3.1 ミニバン車

現在国内で市販されているエスティマ（トヨタ自動車）、セレナ（日産自動車）、ステップワゴン（本田技研工業）、MPV（マツダ）、ディオン（三菱自動車）の 5 台を選定し、カタログの三面図を基本とし、細部は実車を直接計測して線図化した。（この報告では、具体的な車種の優劣比較を行う意図はないので、模型の名称を、順に "minivan a", "minivan b" 等としてある。）従ってメーカーの線図通りの縮尺模型とはいえないが、空力的に重要な特徴はほぼ正確に捉えた形状になっている。

ただしミラー、ドア部他の表面の凹凸等は考慮されおらず、また抵抗への寄与が大きいといわれる床下面の凹凸も省略されて平面になっている。さらにエンジン冷却や空調のために車体内に導かれる内部流は模擬されていない。

2.3.2 セダン車

ミニバン車の空力特性を比較するための基準として、代表的なセダン車の供試体を製作した。即ち現在国内メーカーから市販されている 56 車種のセダン車について、ホイールベースを基準長として、全ての寸法諸元を無次元化し、0.01 刻みの台数分布表を作り、最多台数刻みに該当する諸元が最も多い車種を選んだ。

その結果はクラウンロイヤル（トヨタ自動車）となり

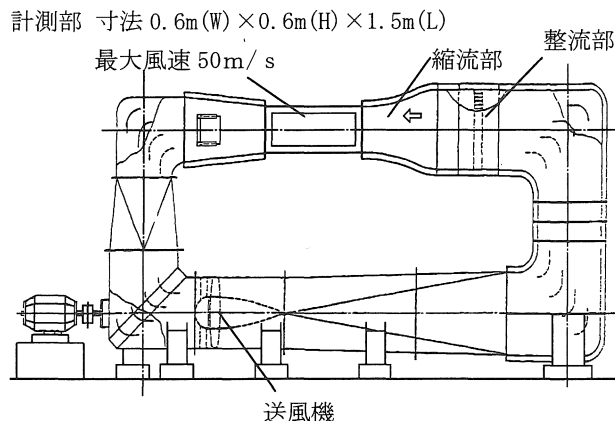


図 1 愛知工業大学型回流風洞

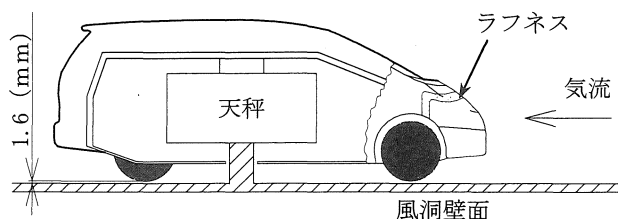


図 2 供試体支持法

（模型名称は単に "sedan"）、縮尺はもとより、線図化の手法等もミニバン車と全く同様にした。

2.4 供試体支持法

縮尺模型による風洞試験においては、供試体の支持法は、計測データの信頼性に直接影響する最重要項目の一つである。しかし実用性と実車との空力的相似性を両立させた、汎用的で最適な手法はまだないといえる。

ここでは空気力計測用天秤を模型内に内装し、風洞壁面に固定する方法を採用した（図 2）。この支持法は、支持部の一部が模型の下面で気流に晒され、空力的干渉を生じさせる欠点はあるものの、簡易でかつ天秤計測出力の信頼性を高める長所を持っている。

ところで実車は静止した大気中を走行するが、風洞試験では静止した模型に気流を当てることになり、風洞床面に発達する境界層が空力的相似性を損なう。この欠点を取り除く対策として、気流と同じ速度で風洞壁面を動かすムービングベルト法が考えられているものの、技術的な困難さと装置の大規模化のため、実用されている例は多くない。

ここでは風洞壁面に発達する境界層の運動量厚さ分（1.6mm）だけ模型を浮かせ（図 2）、力学的な相似性を確保することとしたが、車輪の下部に気流が存在するという感覚的な非相似性は残っている。

3. 座標系と空気力の定義

軸系には、機体前方に x 軸、下方に z 軸を採った右手系のいわゆる機体軸系を採用する (図 3)。このとき y 軸は右舷方向になる。

原点 o は、車体の運動に関する代表点として重心に採るのが普通であるが、今回は各車種の重心が特定できなかったことおよび試験の目的上全供試体に共通な定義を行うことが妥当と判断し、側面図における [前後方向: 車体全長の 1/2, 高さ方向: 車輪を除く車体高さの 1/2] 点に採ることとした。

車体の 3 次元運動の解析には、抵抗、横力、揚力とローリングモーメント、ピッチングモーメントおよびヨーイングモーメントが必要であり、これらは総称して空力 6 分力と呼ばれる (図 3)。また運動を x-z 面内に限定すれば、関係する空気力は、抵抗、揚力およびピッチングモーメントの 3 つになり、これらは縦 3 分力と呼ばれる。

今回は抵抗特性を主眼とした研究であるので、縦 3 分力を扱えば十分である。縦 3 分力の符号は、慣例に従って抵抗 D は気流方向に正、揚力 L は上方に正、ピッチングモーメント M は頭上げ方向に正とする。

4. 空気力の算出

4.1 空気力の無次元化

風洞試験の天秤出力から算出された空気力は、以下のように無次元化され、無次元相似パラメータとして扱われる。無次元相似パラメータは現象の相似性を保証するので、縮尺模型による風洞試験から実車走行時の現象を知ることができる。

(1) 抵抗係数 (drag coefficient) ; C_D

$$C_D = D / (q_\infty S_F)$$

ここに D (N) は抵抗、 S_F (m^2) は車体の正面投影面積、 q_∞ (Pa) は一様流動圧を表わす。また一様流動圧は空気密度を ρ_∞ (kg/m^3)、流速を V_∞ (m/s) として

$$q_\infty = \frac{1}{2} \rho_\infty V_\infty^2$$

である。

(2) 揚力係数 (lift coefficient) ; C_L

$$C_L = L / (q_\infty S_p)$$

ここに L (N) は揚力、 S_p (m^2) は車体の平面投影面積を表わす。

(3) ピッチングモーメント係数 (pitching moment coefficient) ; C_M

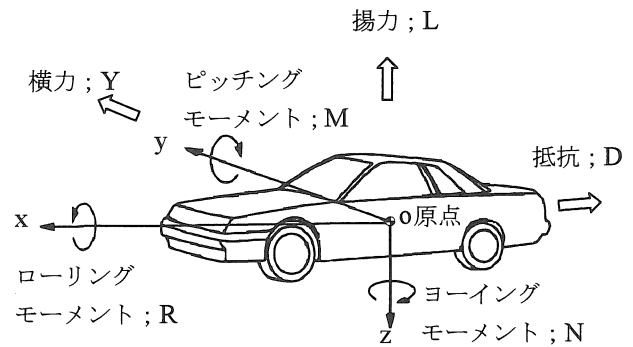


図 3 座標系と空力 6 分力

$$C_M = M / (q_\infty S_p l)$$

ここに M ($N \cdot m$) はピッチングモーメント、l (m) は車体の全長を表わす。

(4) 圧力係数 (pressure coefficient) ; c_p

$$c_p = (p - p_\infty) / q_\infty$$

ここに p (Pa) および p_∞ (Pa) は各々物体上の圧力および一様流の静圧である。

通常これらの無次元空力係数は、空気粘性による摩擦と運動による慣性力の比として定義されるレイノルズ数 (Reynolds number) Re、物体の速度と空中の音速の比として定義されるマッハ数 (Mach number) M 等気流の状態を表わす無次元パラメータの関数である。これら 2 つの無次元パラメータの定義式を以下に示す。

$$Re = V l / \nu$$

$$M = V / a$$

ここに V (m/s) は物体または気流の速度、l (m) は代表的長さ、 ν (m^2/s) は空気の動粘性係数、a (m/s) は音速である。

自動車の場合は高速走行といえども、音速にくらべれば小さい速度なのでマッハ数は考えなくてよいが、レイノルズ数の効きは無視できない。

4.2 空気力の補正

実車が空間を走行する場合と、縮尺模型を用いて風洞試験を行う場合とでは、主として以下の 5 点が異なる。

- (1) 模型の車輪が回転していない。
 - (2) 風洞の壁面 (特に下面壁) に沿って発達する境界層がある。
 - (3) 模型の周囲に風洞壁面がある。
 - (4) 車体表面上の境界層が層流から乱流に遷移する位置が異なる。
 - (5) レイノルズ数がほぼ縮尺分だけ小さい。
- 従って風洞試験結果から実車の空力特性を推算するに

は、これらの効果を評価する必要がある。

(1) に関しては、今回の試験目的を車体形状の空力特性の検討に絞っているため、省略した。

(2) に関しては、既に 2.4 項で述べたとおり、模型の支持法で対処した (図 2)。

(3) に関しては、計測値に以下のような補正を行った。

今回の試験の閉塞比は 4.5% から 5.7% であるが、この効果は気流動圧の増加として、縦 3 分力の全ての空力係数の算出時に補正した¹⁾。即ち風洞の気流設定部で動圧を一定に設定した場合、計測部での気流速度は、模型がある場合とない場合で異なる。模型がない状態での速度を V (m/s)、閉塞比 B (%) の模型がある状態での速度を V_B (m/s) とすれば、連続の方程式から

$$\rho V A = \rho V_B A(1-B) \quad \therefore V_B = V/(1-B)$$

の関係があり、模型に当る動圧は

$$q_B = \frac{1}{2} \rho V_B^2$$

となっているはずである。

ここではこの q_B (Pa) を一様流動圧 q_∞ (Pa) として、模型毎の空力係数の算出に適用した。

なおこの他に、航空機のような大きな揚力を持つ試験では、揚力を渦に置き換えて風洞壁の効果を補正することも通常行われるが、自動車の場合は省略してよい。

(4) および (5) は、いずれも実車と模型の表面上の流れのレイノルズ数効果の評価である。

今回の試験レイノルズ数は、車体の全長基準で 1.1×10^6 程度であり、海面上の高度で実車が 100km/h で走行する場合のレイノルズ数 1.2×10^7 に比べ桁以上小さい。この差は特に抵抗係数にきちんと加味する必要がある。

まず (4) に関しては、実車表面上の境界層が、レイノルズ数 5×10^5 で層流から乱流に遷移するとして、これに相当する模型表面上にラフネス処理を施した (図 2)。

(5) に関しては、抵抗係数のうち摩擦抵抗について、平板の摩擦係数 c_f を用いて補正した。即ち層流部および乱流部の摩擦係数を

$$c_{f,L} = \frac{1.328}{\sqrt{Re_L}}, \quad c_{f,T} = \frac{0.455}{(\log Re_T)^{2.58}}$$

とし²⁾、実車および模型に関しそれぞれの摩擦抵抗係数を算出し、その差を模型の抵抗係数に加えた。ここに $c_{f,L}$ は層流部の摩擦係数、 $c_{f,T}$ は乱流部の摩擦係数、 Re_L は層流部の遷移点までのレイノルズ数、 Re_T は乱流部の遷移点からのレイノルズ数である。

この補正法は遷移レイノルズ数を縮尺分だけ小さくしたことに相当し、経験的に、3 次元の形状にも比較的

表 1 試験結果一覧

空力係数	車名					
	sedan	minivan a	minivan b	minivan c	minivan d	minivan e
C_D	0.212	0.304	0.307	0.277	0.292	0.261
C_L	0.023	-0.085	-0.087	-0.074	-0.075	-0.072
C_M	0.002	-0.030	-0.038	-0.027	-0.023	-0.023
C_{LF}	0.029	-0.059	-0.068	-0.045	-0.047	-0.045
C_{LR}	-0.006	-0.026	-0.018	-0.029	-0.028	-0.027

注) C_D ; 実車100[km/h]走行時へ補正済
但し、内部抵抗、干渉抵抗は含んでいない
 C_{LF} ; 前輪揚力成分, C_{LR} ; 後輪揚力成分

よい近似を与える手法とされている。

5. 風洞試験結果

5.1 結果の概要的特徴について

試験結果を表 1 の一覧表に示す。なおピッチングモーメントの基準点は、重心ではなく、図 3 の座標原点であることに注意されたい。

上述の通り、ここに示した空力係数は、供試体の断面積が風洞計測部に占める閉塞比を補正済みであり、また抵抗係数に関して、レイノルズ数を実車走行速度 100km/h に補正してある。つまり実車が自由空間をこの速度で走行した場合に持つであろう空力特性と解釈してよい。

この結果から概要的に、以下のようなミニバン車車体形状の空力的な特性が読み取れる。

- (1) 抵抗 (C_D) がセダン車のそれに比べて大きい。
- (2) 揚力 (C_L) がセダン車では車体上方に働くのに対して、ミニバン車では下方向に働きかつその絶対値が大きい。
- (3) ピッチングモーメント (C_M) は強い頭下げに働く。
- (4) 前輪に作用する揚力 (C_{LF}) は、セダン車では上方に働くのに対して、ミニバン車では下方向に働きかつその絶対値が大きい。反面後輪の揚力 (C_{LR}) はセダン車、ミニバン車とも下方向に働く。

さらにミニバン車同志を比較すれば

- (5) 全ての空力特性 (特に抵抗) において、相当に大きな差があり、空力的洗練度にはっきりとした優劣がある。

こと等が分かる。

5.2 結果の詳細について

5.2.1 走行抵抗に占める空力抵抗の比率

自動車水平面上を直線運動するときの運動方程式は、

質量を m (kg)、走行速度を V (m/s)、推進力を T (N)、空力抵抗を D (N)、駆動輪以外の転がり抵抗を D_r (N) として

$$m\dot{V} = T - D - D_r$$

と表わされる。なお駆動輪の転がり抵抗は推進力に含めて考えることとする。

従って定常走行時の必要推進力は

$$T_{req} = C_D q S_F + \mu_r (mg - C_{Lr} q S_P)$$

となる。ここに T_{req} (N) は必要推進力、 μ_r は転がり摩擦係数、 g (m/s²) は重力加速度、 C_{Lr} は駆動輪以外が分担する揚力係数であり、また動圧 q (Pa) は空気密度を ρ (kg/m³) として

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2$$

である。

図 4 は、今回の試験結果を用いて、 $\mu_r=0.01$ としたときの速度に対する必要推進力 (=走行抵抗) を示したものである。

この図から、ミニバン車が一般高速道路を制限速度の 100km/h で走行している場合、全必要推進力の 84% は空力抵抗に打ち勝つために使われていることが分かる。推進力は燃料消費に直結するから、言い換えれば、燃料消費量の 80% 以上が空力抵抗のために使われていることを意味する。100km/h は約 30m/s であるから、自動車が台風の瞬間最大風速相当の風を受け走行していることを想像すれば、この結果は容易に理解できよう。

以上は車体の形状のみの抵抗についてであり、実車の空力抵抗には、さらに車体表面や床下面の凹凸によるもの、空調やエンジン冷却のための内部流によるもの、ミラー他の付加物によるもの等が加わる。これらは、乗用車で全空力抵抗の 20~25% 程度あるといわれている³⁾から、ミニバン車でも 20% 程度を見込む必要がある。

従って、高速走行時の燃費の向上には、以下に述べる車体形状による抵抗を中心とした、全空力抵抗を最小化する努力が必要である。

5.2.2 ミニバン車の空力抵抗

図 5 は、表 1 の抵抗係数を車種別にグラフに表わしたものである。

ミニバン車は、セダン車に比べ 23%~45% も抵抗が大きく、またミニバン車間にも 18% もの抵抗差があることが分かる。

単位時間当たりの推進エネルギー (動力) は、走行速度と必要推進力の積であるから、必要推進力を減らす空力抵抗低減は、推進系全体の機械効率の向上と等価な意味を持

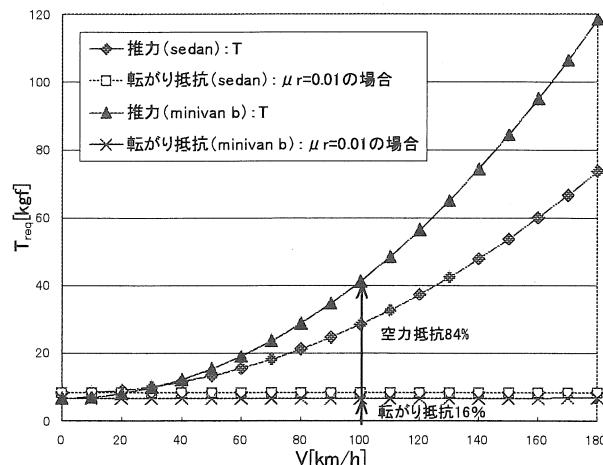


図 4 空力抵抗の燃料消費への影響

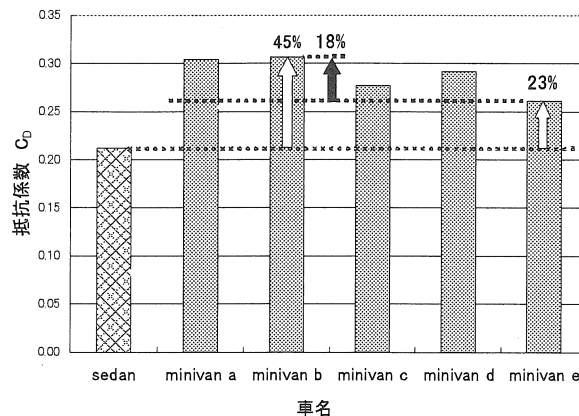


図 5 車種別の空力抵抗

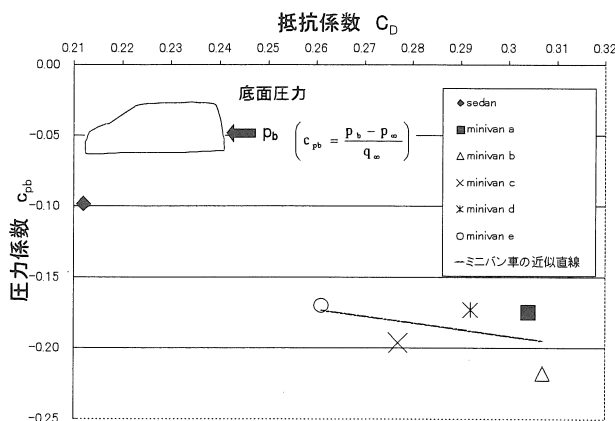


図 6 空力抵抗と底面圧力の関係

つ。推進系の 10% の効率向上は、技術革新の名に値することを考えれば、これだけの抵抗差を看過すべきではない。

従って、例えミニバン車とセダン車で使用目的に差があるとしても、それがこれだけのエネルギー消費の差を正当化できるか否かは一考に値しよう。

また、抵抗の大きいミニバン車のメーカーは、空力的な検

討の不十分さを重く受け止めて欲しいものである。今後メーカは高速走行時のエネルギー消費指標として 100km/h での C_D 値をカタログに明記してもよいのではなかろうか。

図 6 は、空力抵抗と車体後端面の平均圧力（以降底面圧力と呼ぶ。）の関係を示したものである。

セダン車に比べ、ミニバン車の底面圧力は低く、後端面での負圧によって、車体は後方に強く引かれていることがよく分かる。

この物理的な解釈は以下のように考えられる。即ちセダン車では、車体上面の前半部で加速された気流が、後半部で減速され、ある程度の圧力回復がなされてから後端面に至るのに対し、ミニバン車では、気流の圧力が最も低下する位置付近で、一気に後端面として切り落とされていることによる（図 7）。この形はまさにミニバン車の特徴そのものであるから、この種の形状を持つ自動車では、抵抗低減にかなりの困難が伴うことが予想される。

図 8 は、ミニバン車の揚力の絶対値が大きいことに着目し、車体を翼と看做した場合の誘導抵抗（揚力に伴う抵抗）について検討した結果を示したものである。なお誘導抵抗は、一つの空力形状につき揚力を変化させたときの指標であるが、ここでは拡大解釈して“自動車”という形状についての指標としている点を留意されたい。

一般に誘導抵抗 C_{Di} （平面面積 S_p 基準）は、揚力面のアスペクト比 A を用いて、次式で定義される。

$$C_{Di} = \frac{C_L^2}{\pi A e}$$

ここにアスペクト比は、車体の全幅を b (m) として、 $A = b^2/S_p$ で定義され、また e は機体効率で、一般に $e \leq 1$ （楕円翼で $e=1.0$ ）である。

この図に示した実験点の近似直線は、ミニバン車の場合およびセダン車を含めた場合ともほぼ一致し、自動車の車体形状は

$$e \approx 0.13$$

程度の機体効率をもつ極めて空力効率の悪い翼といえ、揚力は大きく拡大されて抵抗になることが推察される。逆にいえば、揚力の絶対値を可能な限り小さく抑えることが、有力な抵抗低減策になる可能性がある。

なお同図の近似直線から、揚力を零としたときの抵抗、即ち自動車の車体形状の零揚力抵抗係数 C_{D0} は、基準面積比を $S_f/S_p \approx 0.25$ として、0.2 程度となる。これに表面の凹凸等の増分 20% を見込んだ $C_D = 0.24$ は、偶然にも、過去の実用車の空力抵抗低減の歴史から見て⁴⁾、その達成可能な目標値として、ほぼ妥当な値となっている。

5.2.3 ミニバン車の揚力

図 9 は、表 1 の揚力係数を車種別にグラフで表わした

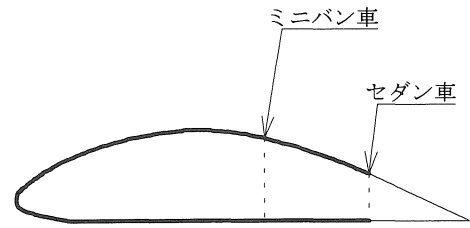


図 7 セダン車とミニバン車の後端面

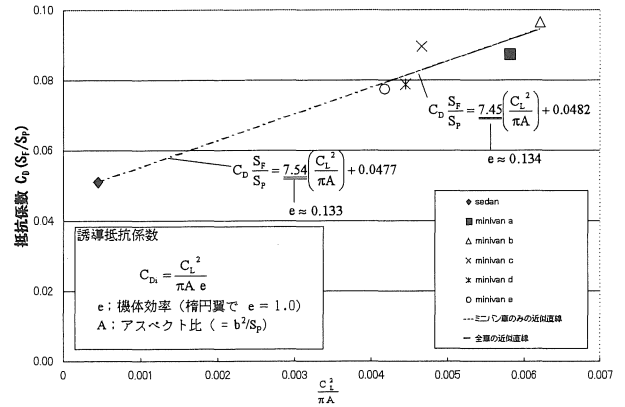


図 8 空力抵抗と誘導抵抗の関係

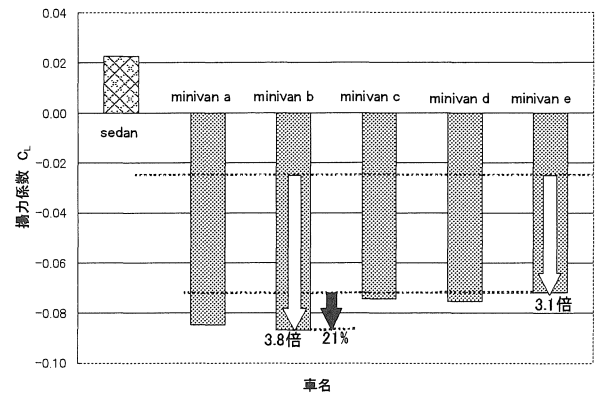


図 9 車種別の揚力

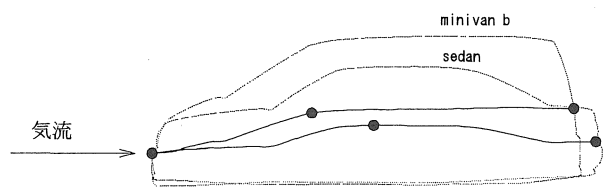


図 10-1 車体形状の薄翼近似 (1)

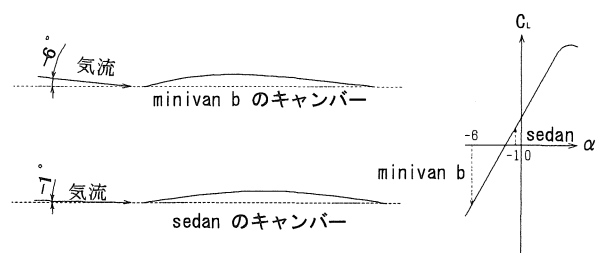


図 10-2 車体形状の薄翼近似 (2)

ものである。

セダン車に比べ、ミニバン車の揚力はその方向が逆で、車体を地面に押し付ける側に働き、かつその絶対値が 3.1～3.8 倍も大きい。ミニバン車間でも、最大の車種は最小のものに比べ 21% も大きい。

この物理的解釈は一応以下のように考えられる。自動車を翼と看做し、車体の高さ方向の midpoint を結んだキャンバーを考える (図 10-1)。キャンバーの前縁、後縁および矢高の最大点の 3 点からなる薄翼の迎角はセダン車では -1° 、ミニバン車で -6° となる (図 10-2 左)。この結果は概念的に図 10-2 右のようになり、セダン車の揚力が正であり、ミニバン車の揚力が負となるのが理解できる。なお、負の揚力を持つミニバン車の後流は、車体から受ける反力により上向きの運動量が与えられているはずである。今後 CFD (Computational Fluid Dynamics)、後流の可視化試験等の手段でこれを確認してみたいと思っている。

また図 11 は、この揚力係数を、前輪と後輪に配分したものである。

この図から分かるように、セダン車との顕著な違いは前輪揚力にあり、セダン車では前輪が浮き上がる方向に作用するのに対し、ミニバン車では前輪を地面に押し付ける側に働いている。絶対値ではセダン車の 1.6～2.3 倍程度である。

一方後輪ではセダン車、ミニバン車とも、空気力によって地面に押し付けられている。またその絶対値に 3.0～4.8 倍程度の差が認められる。

なお以上の揚力特性は

- (1) 今回試験に用いた車種は、セダン車が後輪駆動、ミニバン車は全て前輪駆動である。
- (2) 一般にセダン車に比べ、ミニバン車は横風特性に劣る。

ことに関連している可能性はなしとしないので、その良し悪しについての検討は本報告では行わないこととする。

5.2.4 ミニバン車のピッチングモーメント

図 12 は、表 1 のピッチングモーメント係数を車種別にグラフに表わしたものである。

ピッチングモーメントも、揚力で述べたのとほぼ同様な傾向が認められる。即ちセダン車に比べミニバン車では、その作用方向が逆方向 (頭下げ) であり、かつ絶対値が非常に大きい。ミニバン車間でも、最大の車種は最小のものに比べ 65% も大きいことが分かる。

6. むすび

本文で述べたように、実車が空間を走行する状態を、縮尺模型の風洞試験で正確に再現するには、技術的に多くの

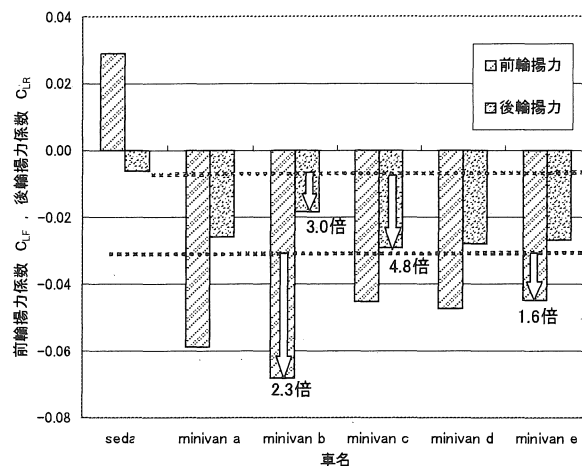


図 11 前輪、後輪の揚力配分

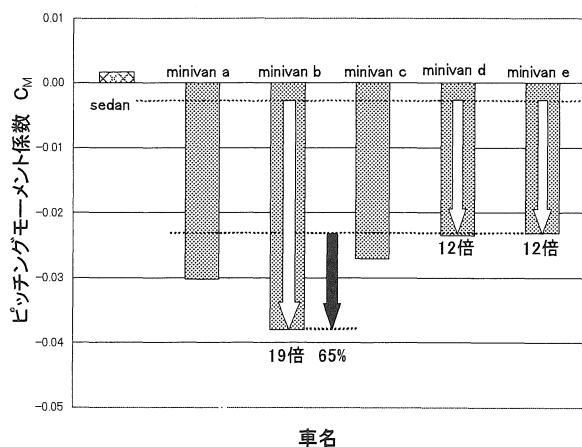


図 12 車種別のピッチングモーメント

問題点がある。しかし同じ対象 (今回はミニバン車の車体形状による空力抵抗) を、同じ設備・装置、同じ模型支持法および同じ計測法 (含むデータ処理法) で試験を行えば、その結果の相対的比較は、十分に意味を持つものになる。従って本報告に示した定量的結果は、恐らく実車においても同様なものになると考えられる。

現在かつてなかった程の多種多様な車体形状の自動車が増えている。これは消費者側からは、選択の自由度が多い点で、歓迎すべきことではある。

一方で自動車の台数の多さを考えるとき、そのエネルギー消費量は莫大なものである。地球資源の消費を最小にすることを至上命題に、現在各メーカーがいろいろな面から取り組んでいることは事実である。しかし今回の検討結果は、未だ未だ改善の余地のある分野が残されていることを示している。機会があれば、今後他の車種について、同様の検討を行ってみたい。

またもう一つの重要課題に走行の安全性がある。差し当り、自動車が横風を受けた時の空力特性の定量的評価が必

要と思われる。

謝辞

今回の試験は、風洞における空気力計測に必須な高精度天秤の設計製作によって、可能となった。これは、平成 10 年度以降の学生の卒業研究における、三菱重工業（株）、三菱エンジニアリング（株）および明豊精機（株）のご指導とご協力によるところ大である。ここに深甚な謝意を表します。

参考文献

- 1) Jewel B.Barlow, William H.Rae, jr. and Alan Pope :Low-Speed Wind Tunnel Testing (3rd Edition), John Wiley & Sons, Inc., New York , 1999
- 2) Hermann Schlichting : Boundary Layer Theory (7th Edition)”, McGraw-Hill Book Company, New York, 1968
- 3) 牧野満雄：流体抵抗と流線形，産業図書，1994.
- 4) 小林敏雄，農沢隆秀：自動車のデザインと空力技術，朝倉書店，1998.

(受理 平成15年 3月19日)