

自動車底面の空力特性の改善*

青山 一樹¹⁾

Improvements of Aerodynamic Characteristic of Automobile Underbody

Kazuki Aoyama¹⁾

The improvements of aerodynamic ground effect on passenger car and van with different ground clearance and different angles of front- and rear-underbody upward slope is presented in this paper. Vehicle model were experimented to measure drag and lift in a wind tunnel with a moving belt. In a addition, the aerodynamic characteristic on vehicle models with different side corners of the rear underbody are investigated. The results are compared with CFD results.

Key Words: Aerodynamics, Testing, Wind Tunnel / Ground Effect, Underbody, Lift and Drag Coefficient

1. ま え が き

近年、自動車は高速走行の機会が増え、空力的にも操縦安定性の向上が求められているが、自動車は高速になるとともに、揚力を発生させやすいという不安定要素がある。

そこで、本研究ではエアロデバイスを付加することなく揚力を減少させ、ダウンフォースを得ることで、車両の安定性を向上させるため、車体底面における空力特性である地面効果に着目し、ムービングベルトを用いた移動地面板法による風洞実験を行った。

実験は乗用車型とバン型の二種類の縮尺模型を使用し、床下地上高とともに、前後底面の傾斜角度を変えて行った。揚力、抗力の空気力と底面の圧力分布を測定し、最適な床下地上高と前後底面傾斜角の最適な組み合わせを検討した。

さらに3種類の後部底面側面形状を用い、CFDによる検証を行うことで車体底面の空力特性の改善を試みた。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

Fig. 1に実験に使用した回流式風洞を示す。測定部は開放式で、測定部の高さ1m、幅1m、長さ2m、最大速度は45m/s。ムービングベルトは幅600mm、長さ1240mm、最大速度は25m/sである。ムービングベルト先端にはブロー(境界層吸い込み装置)を設置する。

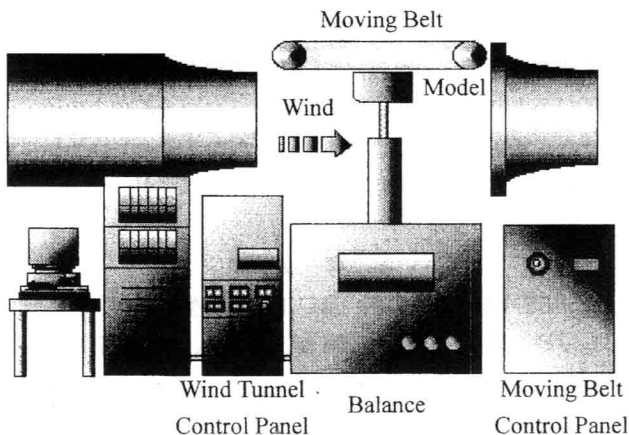


Fig.1 Outline of Experiment Device

実験に使用した乗用車模型は、全長376mm、幅138mm、高さ99mm、バン模型は全長400mm、幅136mm、高さ136mm。両模型とも縮尺は2/25である。本研究では底面形状の違いによる影響を明確にするため、車輪無しフラット底面とした。

2.2 実験方法

本実験はFig. 1に示すように空力天秤が下部にあるため模型を上下逆さに取り付けて行い、車体前後の底面部品と床下地上高を5mmから50mmの範囲で変化させたときに模型に働く空気力と底面圧力分布を測定した。

Fig. 2に示すように0°、5°、10°、15°の四種類の傾斜角を持つ前後底面部品を取り替えることにより行い、後部底面部品はFig. 3に示すように、傾斜部側面と底面部が成す角度が90°の角型形状(Sharp)、傾斜部側面に板を取り付けた板型形状(Plate)、傾斜部側面を丸く面取りした丸型形状(Round)の三種類の形状を順に取り付けて行った。測定時の速度は25m/s、全長(L)を代表長さとしたレイノルズ数は乗用車模型で 6.3×10^5 、バン模型で 6.7×10^5 、地面再現方法として、ムービングベルトを用いた移動地面板法で行った。またCFD解析はSCRUYU/Tetra Ver. 6(ソフトウエアクレイドル社製)を使用した。

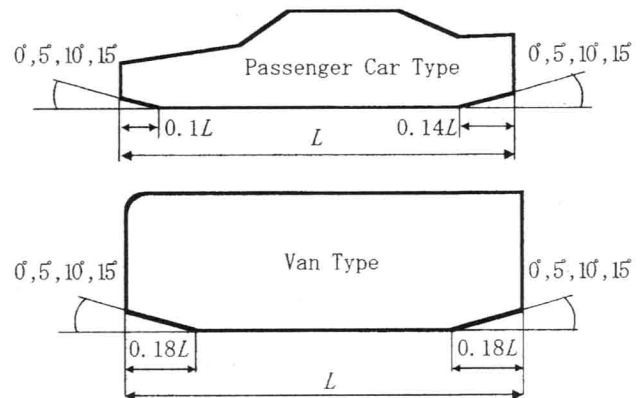


Fig.2 Vehicle Models and Underbody Angles

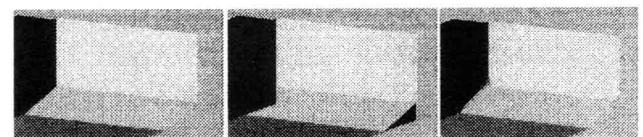


Fig.3 Side Corner Shapes of Rear Underbody

3. 実験結果と考察

3.1 揚力への床下地上高の影響

Fig. 4は、角型形状、前部底面傾斜角 0° の場合における後部底面傾斜角の違いによる揚力の変化を表し、Fig. 5は角型形状、後部底面傾斜角 0° の場合における前部底面傾斜角の違いによる揚力の変化を表している。Fig. 6は前部底面傾斜角 0° 、後部底面傾斜角 15° における底面圧力分布を、Fig. 7は前部底面傾斜角 15° 、後部底面傾斜角 0° における底面圧力分布を表し、外向きに負圧の変化を示している。

Fig. 4, Fig. 5において、乗用車、バンとも前後底面傾斜角の違いに関わりなく床下地上高が5mmから15mmまで増加するとダウンフォース(負の揚力)が増加し、15mmから20mm付近でダウンフォースが最大となる。さらに、床下地上高が20mm以上では床下地上高の増加に伴いダウンフォースが減少する。これはFig. 6より、床下高15mmの時は床下高5mm, 50mmの場合と比べ、底面の前縁部と後部傾斜開始部付近の負圧が大きくなるため、ダウンフォースが最大となる。

3.2 揚力への前後底面傾斜角の影響

Fig. 4より乗用車、バンとも後部底面傾斜角による効果が大きく、ダウンフォースは傾斜角が大きいくほど大きくなる。Fig. 7の後部底面傾斜角 0° の場合では後部の負圧の変化がみられないが、Fig. 6の後部底面傾斜 15° の場合では後部の傾斜部付近に大きな負圧が発生する。そのため、後部底面傾斜の増加とともにダウンフォースが増加する。

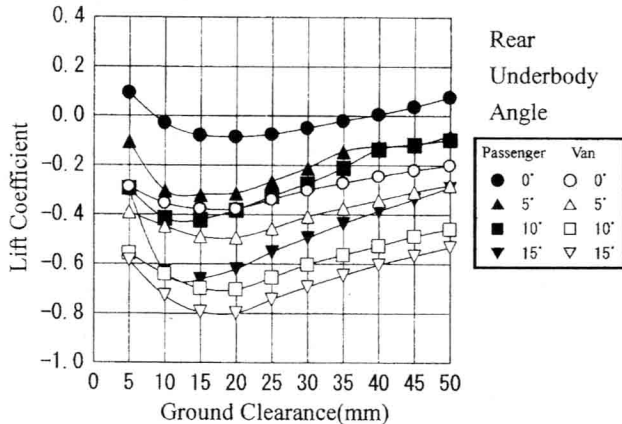


Fig.4 Effect of Rear Underbody Angle on Lift (Sharp Model, Front Underbody Angle 0°)

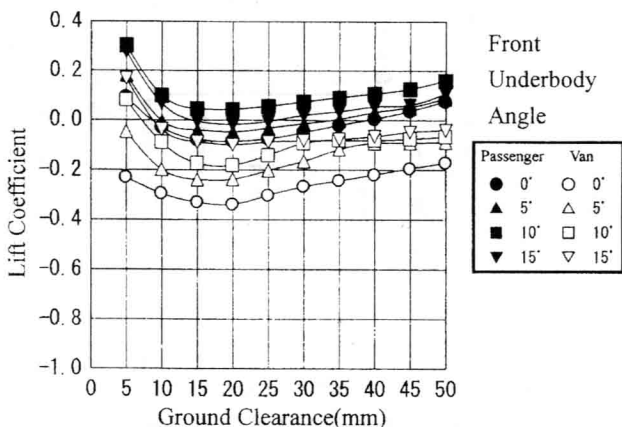


Fig.5 Effect of Front Underbody Angle on Lift (Sharp Model, Rear Underbody Angle 0°)

また、Fig. 5より前部底面傾斜角 0° でダウンフォースが最大となり、前部底面傾斜角が大きくなるとダウンフォースは減少する。これは、Fig. 7において、前部底面傾斜 0° の場合と比べ、前部底面傾斜 15° では車体前縁部に負圧が大きく減少する部分がありダウンフォースが減少する。

3.3 抗力への床下地上高と底面傾斜角の影響

Fig. 8は角型形状、前部底面傾斜角 0° における後部底面傾斜角の違いによる抗力の変化を表し、Fig. 9は角型形状、後部底面傾斜角 0° における前部底面傾斜角の違いによる抗力の変化を表している。

Fig. 9において、乗用車の抗力は床下地上高が小さい時後部底面傾斜角の影響を受け変動するが、床下地上高の増加とともに、抗力への後部底面傾斜角の影響は少なくなる。また、Fig. 9において、前部底面傾斜角 0° の場合は、床下地上高の増加とともに抗力が増加傾向を示すが、それ以外の傾斜角度では抗力への床下地上高の影響が少ない。

バンではFig. 8, Fig. 9ともに床下地上高の増加とともに抗力が減少する傾向がみられた。特にFig. 9においては前部底面傾斜角の増加に伴いこの傾向が顕著に現れた。

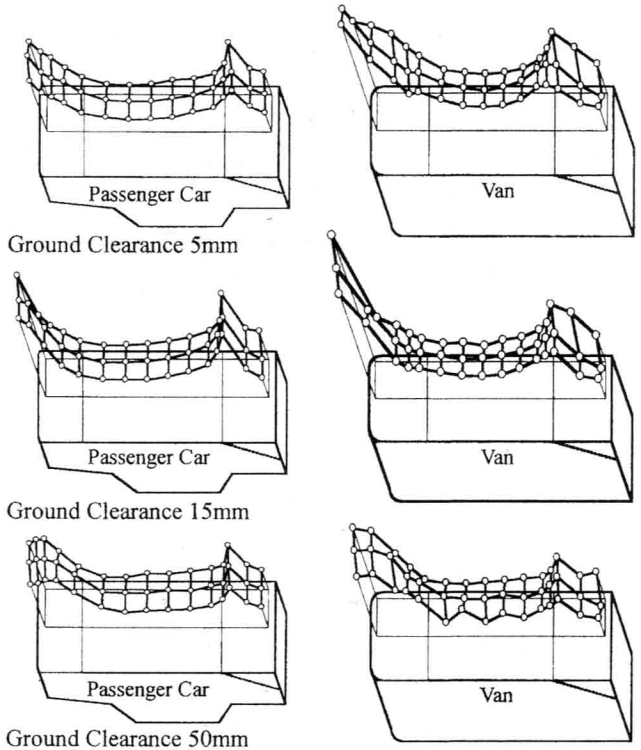


Fig.6 Underbody Pressure Distributions of Sharp Model (Front Underbody Angle 0° and Rear Underbody Angle 15°)

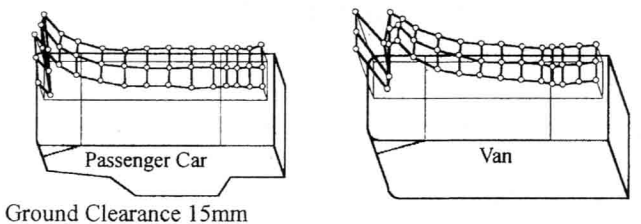


Fig.7 Underbody Pressure Distributions of Sharp Model (Front Underbody Angle 15° and Rear Underbody Angle 0°)

ダウンフォースが最大である床下地上高20mm付近に着目すると、Fig.8より乗用車、バンとも後部底面傾斜角5°の場合に最小の抗力を示した。これは、車体後部に発生する渦の発達が小さくなったためと考えられる。

Fig.9において、前部底面傾斜角0°の場合に最大の抗力を示し、傾斜角の増加とともに抗力が減少する。これは、前部底面傾斜が大きくなるとともに、流れを垂直に受ける面積が減少するためであり、また前部底面傾斜部の負圧の流れ方向と逆方向の成分の増加によるものと考えられる。

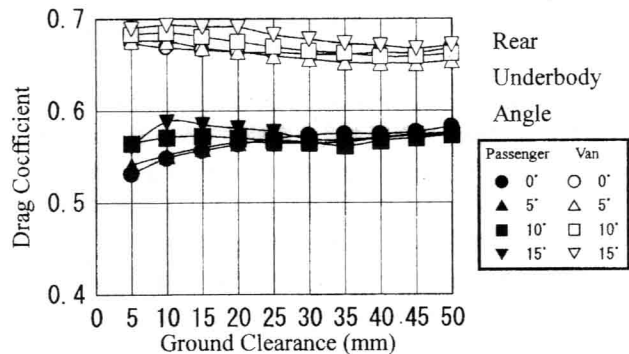


Fig.8 Effect of Rear Underbody Angle on Drag (Sharp Model, Front Underbody Angle 0°)

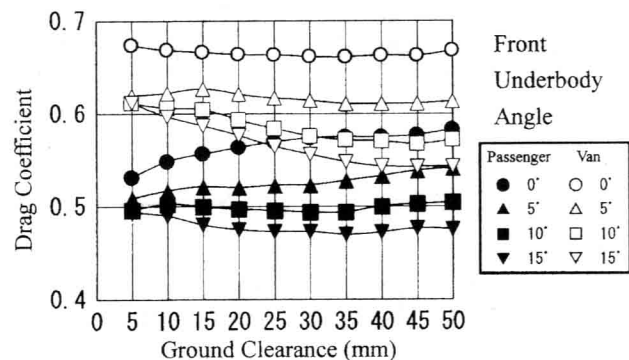


Fig.9 Effect of Front Underbody Angle on Drag (Sharp Model, Rear Underbody Angle 0°)

3.4 揚抗比による評価

後部底面傾斜角が大きくなると、ダウンフォースが増加するが抗力も増加する。逆に前部底面傾斜角が大きくなると、抗力は減少するが、ダウンフォースも減少するため、最適な前後底面傾斜角の評価が困難である。

そこで、最適な前後底面傾斜角を検討するために揚抗比(揚力/抗力)を調べた。自動車の場合は、ダウンフォース(負の揚力)が大きいほど良く、抗力は小さいほど良いので、揚抗比は負の値が大きいほど良いことになる。

Fig.11は、乗用車とバンの揚抗比を表しており、最大のダウンフォースが得られた床下地上高20mmの場合を代表例に用いた。

Fig.11より、乗用車、バンとも後部底面傾斜角が大きいほど負の揚抗比が大きくなる。乗用車では前部底面傾斜角の影響はほとんどないが、バンでは前部底面傾斜角5°で最大の負の揚抗比を示した。

結論として、角型形状における最適な前後底面傾斜角は前底面傾斜角5°、後底面傾斜角15°であるといえる。

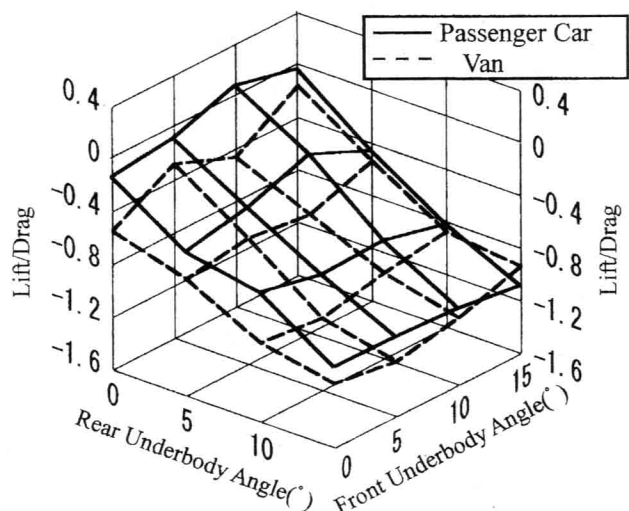


Fig.10 Lift/Drag of Passenger Car and Van (Sharp Model, Ground Clearance 20mm)

3.5 後部底面形状による空力改善

これまで多くの研究者により、後部底面の大幅な圧力の低下が、後部底面側面部から発生する後流渦によるものであること、下面を流れる流量を多くすることより効果が大きくなることなどが知られている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

後流渦の制御による空力改善を試みるために、後部底面の形状を三種類用意した。後部底面はFig.3に示すように、角型形状(Sharp)の他に、板型形状(Plate)と丸型形状(Round)を用意した。

角型形状で揚抗比が最適であった前後底面傾斜角、前部底面傾斜角5°と後部底面傾斜角15°について、三種類の後部底面形状の違いによる揚力の変化をFig.11に示す。

Fig.11において床下地上高が15mm以上の場合は乗用車、バンとも底面形状の影響が顕著で、板型のダウンフォースが最も大きくなる。しかし、床下地上高15mm未満では板型のダウンフォースが小さくなる。また丸型は乗用車、バンとも全体的にダウンフォースが小さくなる。

Fig.12はダウンフォースが最大となった床下地上高20mmにおけるCFDによる底面圧力分布で、色の黒い部分ほど負圧が大きいことを表している。乗用車、バンとも角型に比べ板型の後部底面で負圧が大きくなっている。これが板型でのダウンフォース増大の要因である。

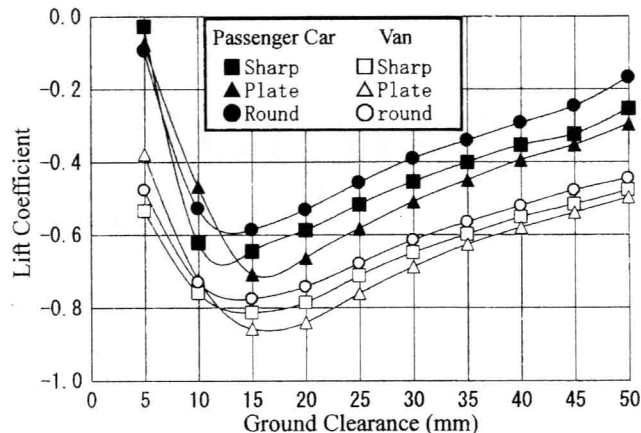


Fig.11 Effect of Rear Underbody Side Shapes on Lift (Front Underbody Angle 5°, Rear Underbody Angle 15°)

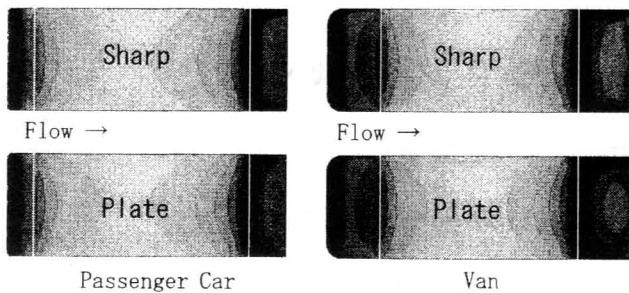


Fig.12 Underbody Pressure Distributions by CFD
(Front Underbody Angle 5° and Rear Underbody Angle 15°)

Fig. 13はFig. 11と同一条件における抗力の変化を表している。Fig. 13においてダウンフォースが最大となった床下地上高20mm付近に着目すると、乗用車、バンとも角型形状の抗力が最も小さいが、後部底面形状の違いによる揚力の変化に比べ、抗力の変化は顕著ではない。

そこで、最適な後部底面形状を調べるため、前後底面傾斜角と同様に揚抗比を用いた評価を行った。

Fig. 14は、乗用車、Fig. 15はバンの後部底面形状の違いによる揚抗比を表している。尚、前後底面傾斜角度において最適な条件と同じく、床下地上高は20mmの場合を示す。Fig. 14, Fig. 15より、後底面傾斜角15°での負の揚抗比は、乗用車、バンとも角型に比べ板型が最も大きくなった。

乗用車では角型に比べ、板型の揚抗比が約10%向上し、バンでは板型の効果がさらに顕著に現れており、前底面傾斜角10°の場合では、角型に比べ揚抗比が約20%向上した。また乗用車、バンとも丸型は負の揚抗比が小さくなった。乗用車、バンとも角型に比べ、板型、丸型は抗力が幾分増加するものの、板型ではダウンフォースの増加が大きくなり、結果として板型の揚抗比が向上した。また、丸型はダウンフォースが減少したため、揚抗比が悪化した。

これは、角型に比べ板型では後部底面側面部から発生する後流渦が、急激に大きく発生するため、後部底面部分の流量増加に伴う圧力低下に寄与したものと考えられる。

また、丸型は後部底面側面部から発生する後流渦が形成され難く、圧力低下が抑制されたためと思われる。

以上のように、板型は揚抗比が向上しており、後流渦の制御による空力特性の改善は効果的である。

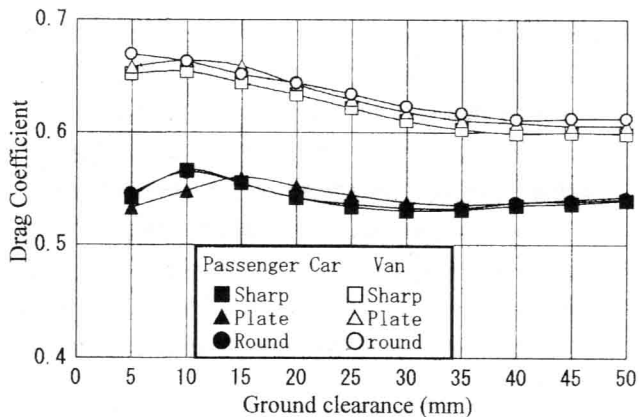


Fig.13 Effect of Rear Underbody Side Shapes on Drag
(Front Underbody Angle 5°, Rear Underbody Angle 15°)

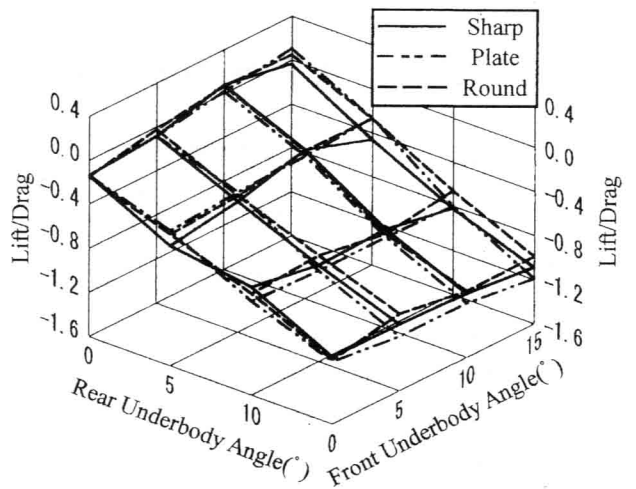


Fig.14 Lift/Drag on Various Rear Underbody Side Corner Shapes of Passenger Car at Ground Clearance 20mm

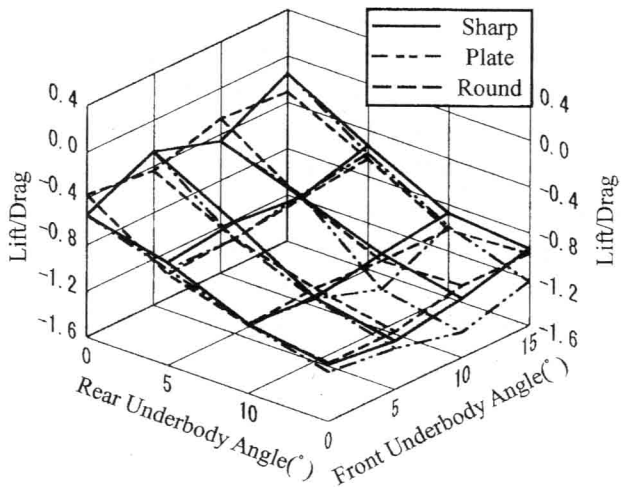


Fig.15 Lift/Drag on Various Rear Underbody Side Corner Shapes of Van at Ground Clearance 20mm

まとめ

1. ダウンフォース向上には、床下地上高15mmから20mmが最適である。
2. 後部底面傾斜角が大きいほどダウンフォースが向上し、前部底面傾斜角が大きいほど抗力が減少する。
3. 板型は、揚抗比の改善に効果的である。

謝辞

本研究遂行にあたり、財団法人東京自動車技術普及協会より助成金を賜りましたことを記し謝意を表します。

参考文献

1. W.H Hucho: Aerodynamics of Road Vehicles, Butterworths, p.140-159, 1987
2. 黒石 智, 仲谷 仁志: 自動車の後底面付近の流れの解析, 自動車技術会論文集, Vol. 22, No.1, January, p. 94-98, 1991
3. 仲谷 仁志, 波多野 治巳: 自動車の空力特性改善のための底面工夫について, 自動車技術会論文集, Vol. 23, No.1, January, p. 94-99, 1992