

ボディ表面の粗さが自動車の空力特性に及ぼす影響

Effect of Roughness of Body Surface on Vehicle Aerodynamics

知能機械システム工学コース

航空エンジン・超音速流研究室 1215030 松本 巧

1. 緒言

自動車開発において、化石燃料の枯渇化の対応や、CO₂排出量低減が求められており、自動車の燃費改善は重要かつ急務の課題である。

自動車の全走行抵抗による消費エネルギーのうち空気抵抗による消費エネルギーの占める割合は大きく、速度の二乗に比例して大きくなる⁽¹⁾。この空気抵抗は車体形状に大きく左右される圧力抵抗と、流体の粘性によって受ける摩擦抵抗に分けられる。圧力抵抗が空気抵抗の90%程度を占めるのに対し、摩擦抵抗は10%程度であるが、車体表面を不要に大きくしないなどの注意が必要であり、無視できないものである。

また、近年の自動車の高速化や高性能化に伴い、快適性向上や走行安定性の必要性が高まる中、車体周りの流れ制御による空力特性の向上も重要となってきている。その空力特性を向上する技術のひとつとして、小池ら⁽²⁾によるボルテックスジェネレーター (VG) を用いた研究がある。この研究は、VG を剥離の大きいルーフ後端付近に設置することで剥離が抑えられ、車体背面の圧力が上昇することにより空気抵抗が低減することを示した。

本研究では、文献(2)を参考に流れに影響を及ぼす可能性があるものとして、「表面粗さ」に着目した。この表面粗さを用いることで空力特性の向上を図ることを目的とし、走行中の抗力と揚力を数値流体計算により調べ、空力特性の変化のメカニズムについて考察する。その利点としては、仮にVGと同程度の剥離制御が出来れば、それ自体の抵抗が小さいので、VGと比較してさらに抗力が下がることが期待できることである。また、ボディ形状を変えるものではないため、デザインの自由度が上がることも考えられる。

2. 数値計算手法

本研究では、三次元非圧縮性乱流場を取り扱う。流れ計算のソルバーにはSolidWorksのFlowSimulationを用いる。支配方程式は連続の式、ナビエ・ストークス方程式を用い、乱流モデルにはk-εモデルを用いる。速度・圧力解法には、時間項にオイラー陰解法を適用する。空間離散化には有限体積法を用い、方程式の対流項には二次精度風上差分法、拡散項には二次精度中心差分を採用する。格子生成は、SolidWorksのメッシュリファインを用いる⁽³⁾。

3. 計算対象及び計算条件

3.1 計算対象

本研究で用いるモデルを図1に示す。車体の大きさは、全長L=4300[mm]、全幅W=1480[mm]、全高H=1430[mm]である。進行方向は+z方向である。

窓ガラスを考慮して、ボディのフロント半分(front)、リア半分(rear)(図1の青色の部分)、全体(all)に粗さを適用した3ケースを考え、大きさは最大平均粗さRz=500[μm]に固定して計算を行った。粗さは、紙やすりのように表面に砂粒が隣り合って並んだものである。この時の直径が最大平

均粗さである。

3.2 計算領域

計算領域は流れ方向×横方向×高さ方向に40[m]、10[m]、5[m]とし、車体前後に十分広い領域を確保する。総セル数は約200万である。

3.3 境界条件

本計算の条件を表1に示す。流入境界の条件としては、時速60kmを想定した主流流速16.667[m/s]の一樣流を与えたケースを行う。流入気流は乱流であるとし、主流の0.5%の乱れを与える。

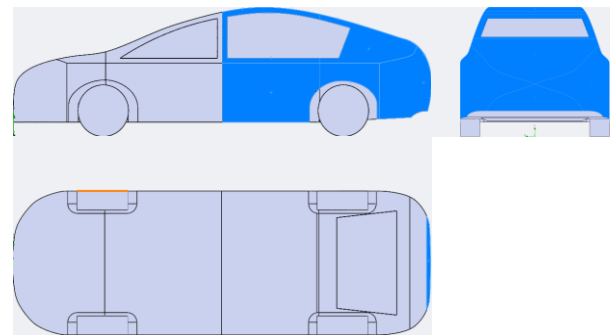


Fig. 1 Body model (rear)

Table 1 Condition

Inflow velocity	16.667 [m/s]
Reynolds number	4.74×10^6 [-]
Turbulent model	k-ε
Turbulent intensity	0.5%
Turbulent energy k	1.04×10^{-2} [J/kg]
Dissipation factor ε	5.80×10^{-4} [W/kg]
Tire angular velocity	64.10[rad/s]

4. 結果と考察

図2に抗力、揚力を無次元化したCd値、Cl値を示す。粗さをつけたモデルはすべてCl値が低減しており、rearにおいてはCd値も低減した。

次に、全抗力と摩擦抵抗のグラフを図3に示す。粗さをつけたモデルではせん断応力が増加することにより摩擦抵抗が増加した。しかし、rearにおいては増加した摩擦抵抗を打ち消すだけの圧力抵抗の低減が確認できた。

これらの要因を解明するために、図4に示すようにケースごとに圧力分布に変化が大きい車体後部に着目した。車体後部の中央断面図における速度分布を図5に示す。粗さをつけたモデルではボディ上部の流速が低下していることが分かる。この影響により、床下の流れに変化をもたらしていることが分かった。

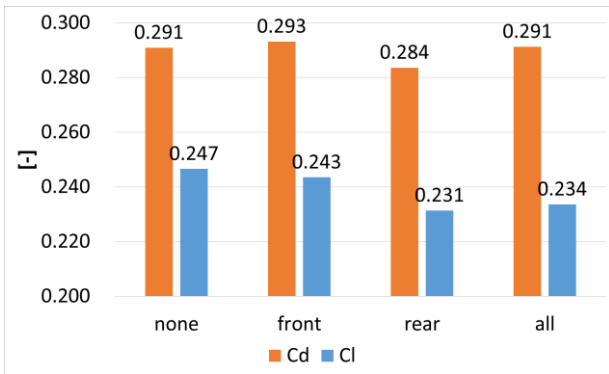


Fig.2 Drag and Lift coefficients

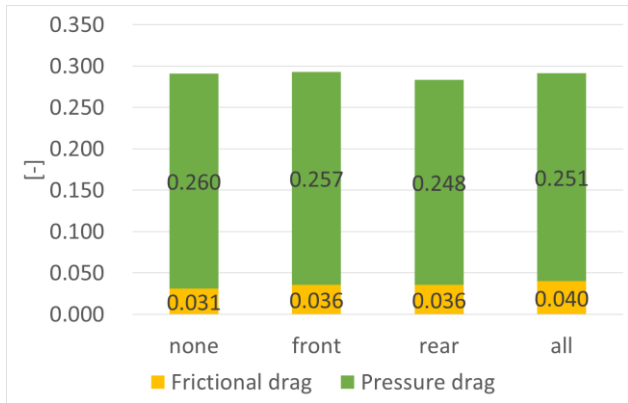


Fig.3 Total resistance and Frictional resistance

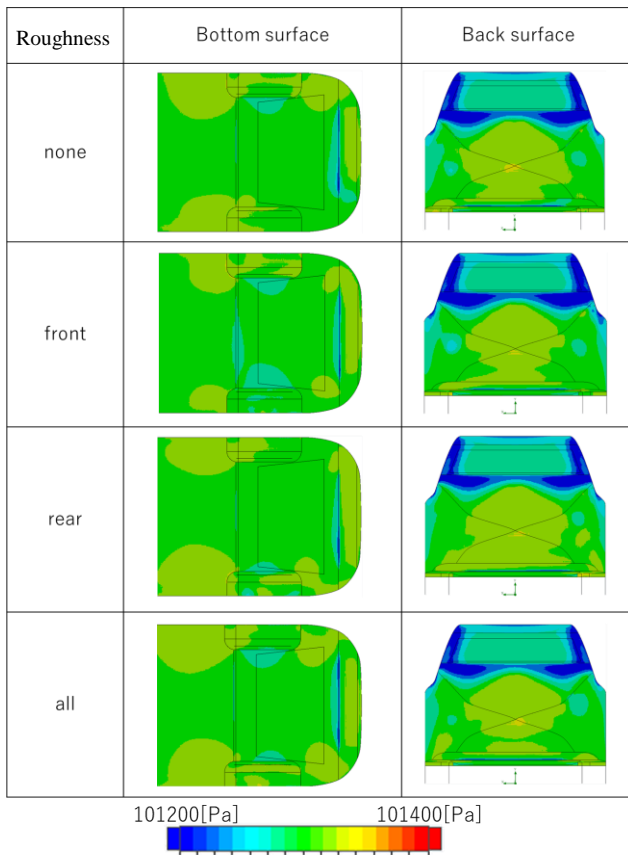


Fig.4 Pressure distribution at rear of the body

そこで、図6の青色で示す背面 (back surface) と図7の青色で示す床下後部の面 (lower surface of car body) の2箇所にかかる力を算出したグラフを図7に示す。粗さをつけたモデルは床下後部の抗力が低減し、rearにおいては背面でも抗力が低減していることが分かる。rear と all の背面の抗力が低減している理由は、粗さによるせん断応力の増加によりルーフ上の流速が低下することで動圧が低下し、静圧が上昇したと考えられる。床下後部の抗力の違いについて、図9に示す赤線を横軸に速度 y 成分, z 成分を見ていく。(図10, 図11) すると、y 方向に速度が大きく、z 方向に速度が小さいケースの方が、抗力が低減している傾向にあることが分かった。つまり、床下後部の流れが上向きになり、面に向かって流れるようになったため圧力が上昇し、抗力が低減したと考えられる。

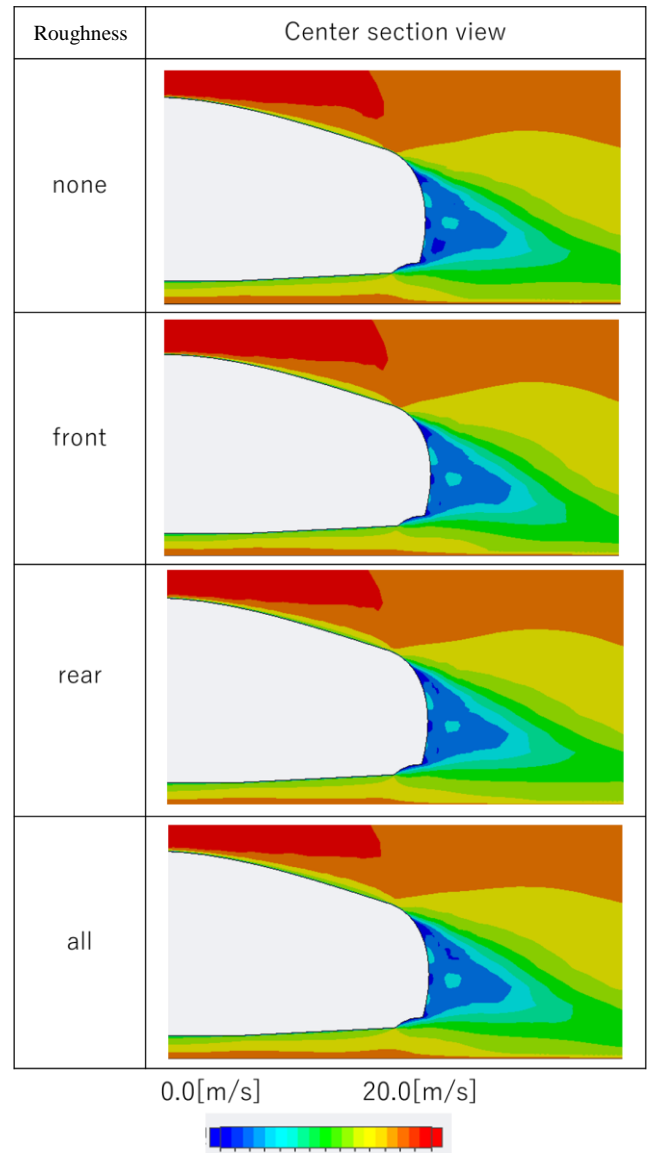


Fig.5 Speed distribution at center section view

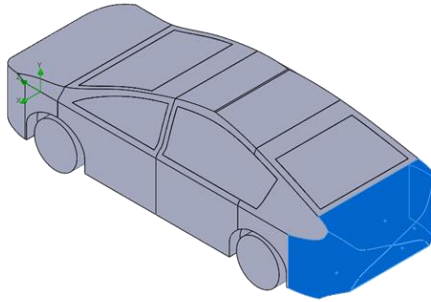


Fig.6 Calculated surface (back surface)

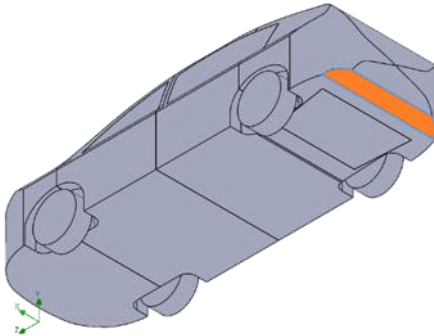


Fig.7 Calculated surface (lower surface of car body)

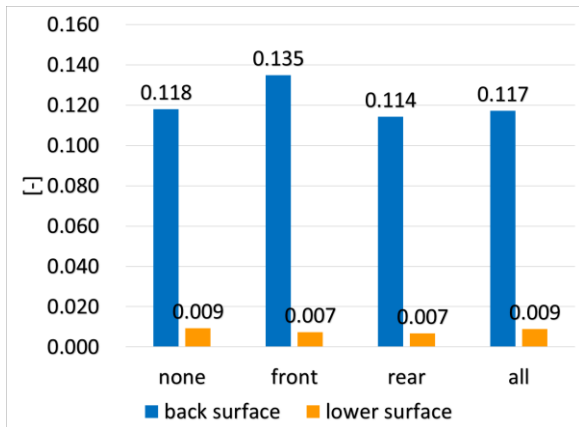


Fig.8 Force on the surface

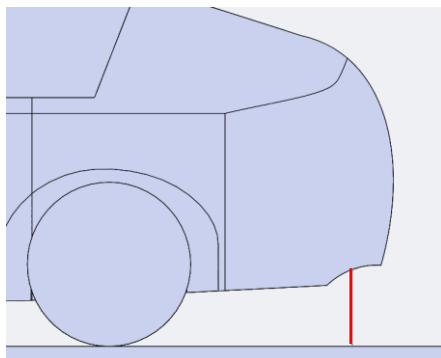


Fig.9 Plot position

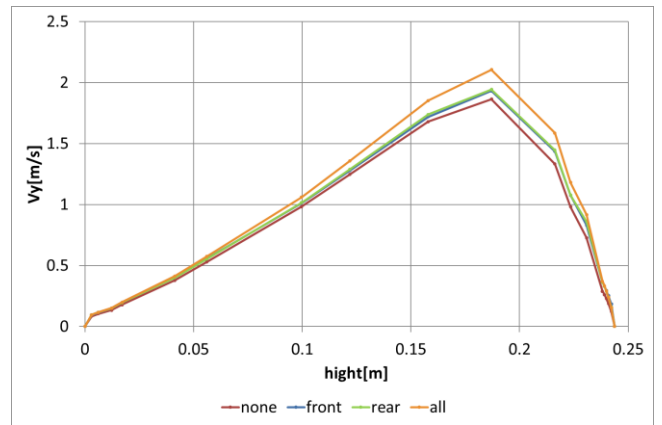


Fig.10 Velocity component Vy

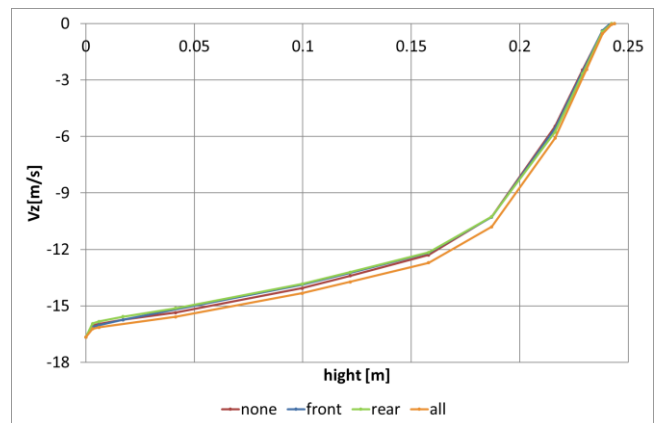


Fig.11 Velocity component Vz

さらなる空力特性の向上を図るため、粗さをつける位置を図 12、図 13 のように変更して計算を行った。

「rear+bumper+side」は、流れの上流に粗さをつけることで後流に大きな影響を与えることを狙ったバンパー (bumper)、摩擦抵抗を大きくしないように流体があまりよどんでいない側面 (side) と結果の良かったリア (rear) を組み合わせることにより空力特性向上を狙ったものである。また、「body upper」はボディ上部の流速のみを大きく低下させ、床下の流れに大きな変化を与えることを狙ったものがある。どちらのケースにおいても、rear と同様に背面 (特に上部) と、床下後部の圧力が上昇し (図 14)、Cd 値、Cl 値が低減した (図 15)。

これらのことから、ボディ表面に適用した表面粗さのせん断応力増大によるボディ上部の流速低下が床下後部の流れにも影響を及ぼし、結果として空力特性に変化を与えることが分かった。

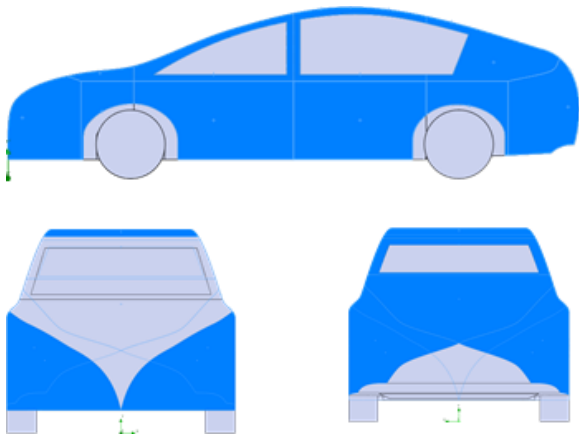


Fig.12 Body model (rear+bumper+side)

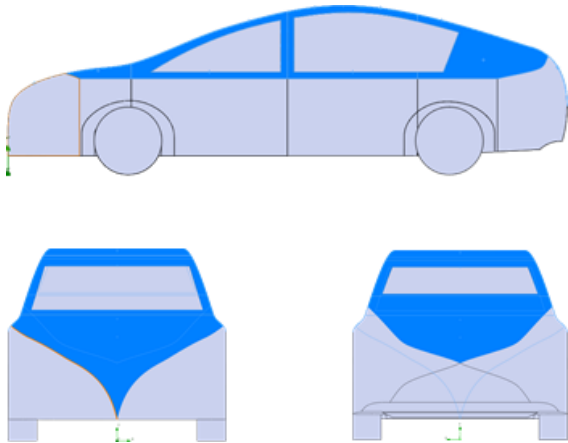


Fig.13 Body model (body upper)

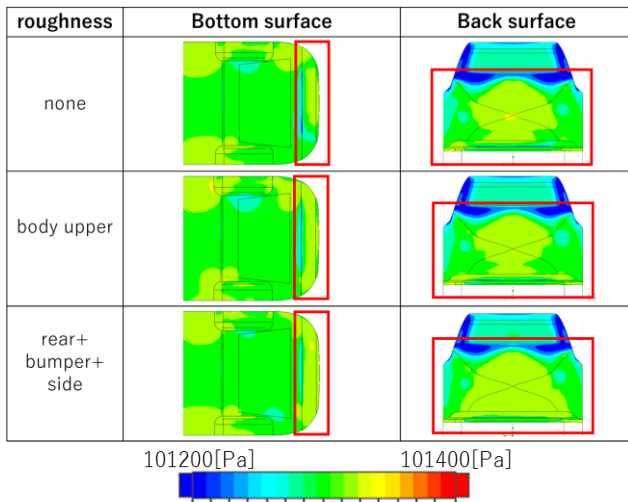


Fig.14 Pressure distribution at rear of the body

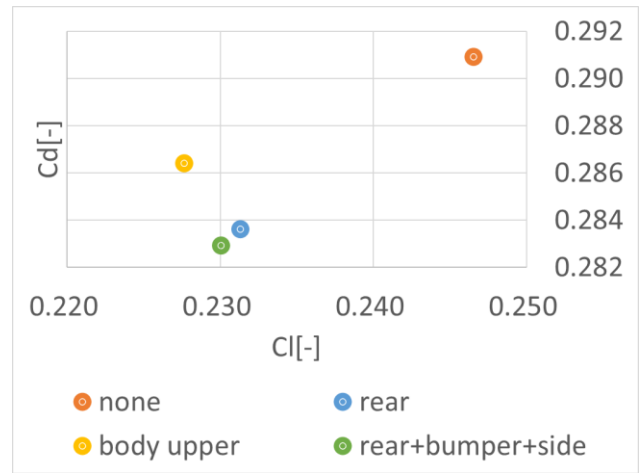


Fig.15 Cd-CI diagram

5. 結言

ボディに表面粗さを適用した自動車モデルを用い、数値計算により比較した。当初の目的であった剥離低減を実現することはできなかったが、粗さをつける位置によっては流れ場に変化を与えることで圧力にも変化を与え、Cd 値、CI 値ともに低減することができた。

空力特性が変わったことの要因はボディ上部の流速の低減によるものと、その影響により床下の流れが変化することであった。しかし、粗さをつけた位置による流れの法則性を見出すことはできなかった。

今後やらなければならないことは、検討することのできなかった粗さの大きさを変更することが流れに与える影響の調査を行う必要がある。また、今回の計算はすべて定常で行ったため、実条件に近づけるために流れの非定常性も考慮した計算を行う必要がある。それらを行うことでより少ない面積で効率的に空力特性を向上するモデルの検討ができると考える。

文献

- (1) 炭谷, 前田, 一之瀬, "自動車と流体力学 車体流れと空気特性", ながれ, 第 23 巻, 第 6 号 (2004), pp445-454
- (2) 小池, 永吉, 濱本, "ボルテックスジェネレーターによる空気抵抗低減の研究", 三菱自動車テクニカルレビュー, No.16 (2004), pp13-18
- (3) SolidWorks FlowSimulation, "テクニカルリファレンス", (2016)
- (4) Frank M.White, "Fluid Mechanics", 8th edition (2016), pp449-466
- (5) 春日, "乱流モデル", [オンライン], Available : http://penguinitis.g1.xrea.com/study/note/turbulence_model.pdf (2015)