2011年10月19日 地球シミュレータ産業利用シンポジウム

『非定常渦構造の特性解明およびそれに 基づく抜本的空気抵抗低減技術の開発』

~ 2BOX車両背面の空気抵抗発生メカニズム調査 ~

トヨタ自動車株式会社 プロジェクト責任者 安木

山村 淳 忠津 雅也

剮

Copyright © 2011 Toyota Motor Corporation All Right Reserved.



1. 背景

- 2. 供試品
- 3. 計算条件

4. 計算結果

- 5. 実験との比較検証
- 6. 考察

7. まとめ



1. 背景

- 2. 供試品
- 3. 計算条件

4. 計算結果

- 5. 実験との比較検証
- 6. 考察

7. まとめ

<u>背景(1/4)</u> ー車両の空気抵抗低減の必要性ー

- ・欧州では2012年からのフェーズインで全乗用車の CO₂排出量を130g/km相当とする規制が発行された.
- 国内でも2015年を目標達成年度とした乗用車等の 新燃費基準(2004年度実績比で乗用車23.5%向上)
 が導入された.
- 車両の空気抵抗係数(C_D)0.010低減は,CO₂の 排出量を1g/km低減することに相当し,その低減の 必要性が高まっている.

<u>背景(2/4)</u> -1980年以降の車両空気抵抗の推移-

4/43



year



・アッパーボデーが,2BOX車両の空気抵抗の約6割を占める.



Items of Aerodynamic Drag







2BOX Shape Vehicle's Upper Body Aerodynamic Drag

<u>本研究の狙い</u>

・車両背面の剥離域内の渦構造と空気抵抗の関係を解明.

地球シミュレータを用いた <u>大規模(約5000万格子),高精度(LES)</u>な計算にて, 剥離域内の時間的に変化する複雑な渦構造を分析.

【参考:従来の実験,計算の例】

風洞実験での可視化や,k-εモデル等を用いた定常計算では, 3次元の渦構造を把握しにくい.



Experiment



Calculation $(k-\epsilon)$

Example of the Flow in the Wake







1. 背景

- 2. 供試品
- 3. 計算条件

4. 計算結果

- 5. 実験との比較検証
- 6. 考察

7. まとめ

<u>供試品(1/2)</u>

・車両背面は剥離域内の渦構造を再現しうる実車相当の詳細な形状(3ケース). ・エンジンルーム,床下は形状を簡略化.

(剥離域内での流れの差を顕著にすべく,車両背面までの流れをスムーズ化.) ・車両背面以外の形状は同一.





1. 背景

- 2. 供試品
- 3. 計算条件

4. 計算結果

- 5. 実験との比較検証
- 6. 考察

7. まとめ

<u>計算条件(1/2)</u>

- ・断面積の大きい風洞を模擬.
- ・車両背面のフィレットRを再現する最小格子寸法(約1[mm]).

Calculation Condition

Reynolds Number	2.5×10^{5} [-]
Dynamic Viscosity Coefficient	$1.54 \times 10^{-5} \text{ [m}^{2}/\text{s]}$
Characteristic Length	1.876 [m]
Term of Time Averaging	from 18.3[sec] to 36.6[sec]



Calculation Domain



<u>計算条件(2/2)</u>

・地球シミュレータでしか実施できない大規模,高精度な計算を実現.

計算ソフト	FrontFlow/blue 5.2 (LES)		
計算格子数	約5千万		
計算ノード数	16 {※1ノードあたり8CPU 16×8=128CPU		
計算時間	約50時間(1ケースあたり)		

- 1. 背景
- 2. 供試品
- 3. 計算条件
- 4. 計算結果
- 5. 実験との比較検証
- 6. 考察
- 7. まとめ

<u>計算結果(1/3)</u>

Case 1に比べてCase 2のC_D値は0.009小さく, Case 3のC_D値は0.021大きい.



 C_D Time History of Calculation

<u>計算結果(2/3)</u>

・風防ガラスより前方の圧力分布,流線の形状に優位な差は見られない. ・車両背面の剥離域内の圧力分布,流線の形状に差が見られた.



Static Pressure Distribution at Center Plane

<u>計算結果(3/3)</u>

・車両全体のC_D値差の大部分は車両背面のC_D値差に起因することが判明. ・各ケース間で,車両背面のC_D値分布に差があることが判明.

		Case 1	Case 2	Case 3
車両全体 車両:	C _D	0.269	0.260	0.290
	Case 1との差		<u>-0.009</u>	<u>0.030</u>
	C _D	0.188	0.179	0.213
背面	Case 1との差		<u>-0.009</u>	<u>0.034</u>
	High C _D Low			

- 1. 背景
- 2. 供試品
- 3. 計算条件
- 4. 計算結果
- 5. 実験との比較検証
- 6. 考察
- 7. まとめ







·水平閉鎖回流型 (ゲッチンゲン型)風洞

※日本大学理工学部理工学研究所 空気力学研究センター所有



<u>実験との比較検証(2/6)</u> - C_D値-

・各Case間のC_D値差の傾向は定性的に一致.



 $C_{D}(exp)$

22/43

<u>実験との比較検証(3/6)</u> ー車体表面圧力(Case 1)-

・実験結果と計算結果は概ね一致.



Static Pressure Measurement Point

Under

Static Pressure on Vehicle's Surface



24/43実験との比較検証(5/6) ー剥離域内流速(Case 2)ー

・Case 1と同様に,剥離域内の流れの循環が確認された.







1. 背景

- 2. 供試品
- 3. 計算条件
- 4. 計算結果
- 5. 実験との比較検証
- 6. 考察
- 7. まとめ



ー車両中央断面の流速分布ー

・車両中央断面の剥離域内の流線は、渦構造の存在を示唆する.

Vortex Core



Case 1



Case 3



Velocity Magnitude Distribution

27/43



ー地上高0.8[m] 水平断面の流速分布ー



Velocity [m/s]

Low

High

・水平断面の剥離域内の流線も,渦構造の存在を示唆する.

Vortex Core



Velocity Magnitude Distribution



Υ_Λ

Х

<u>考察(3/13)</u> 一車両中央断面の渦中心(Case 1)-

Vortex Core



Stream Line and Velocity Magnitude at Center Plane

29/43



Υ_Λ

Х

ー車両中央断面からY方向0.1[m] オフセット断面の渦中心(Case 1)ー

Vortex Core



Stream Line and Velocity Magnitude at 0.1[m] Offset from Center Plane



Х

<u>)</u> ー車両中央断面からY方向0.2[m] オフセット断面の渦中心(Case 1)ー

・オフセットした断面においても渦中心が存在.

Vortex Core



Stream Line and Velocity Magnitude at 0.2[m] Offset from Center Plane



Z∧

Х

<u>考察(6/13)</u> 一地上高0.6[m]断面の渦中心(Case 1)ー



Stream Line and Velocity Magnitude at 0.6[m] Offset from Ground



Stream Line and Velocity Magnitude at 0.8[m] Offset from Ground



Z∧

<u>考察(8/13)</u> 一地上高1.0[m]断面の渦中心(Case 1)-

Vortex Core

34/43

・オフセットした断面においても渦中心が存在.

High Velocity [m/s] 1.0[m] Low

Stream Line and Velocity Magnitude at 1.0[m] Offset from Ground

考察(9/13) ー剥離域内の渦中心の3次元的分布ー

・剥離域内の渦中心を各断面毎に特定.
・特定された渦中心をつなぐと3次元的な渦輪が形成.



Case 1

Case 2

Case 3

Vortex Rings in Vehicle's Wake



<u>考察(10/13)</u> 一剥離域内の渦度(Case 1)-

・渦と車両背面との間には、強い渦度は見られず、非回転流に近い.



Section at 0.8[m] Offset from Ground Y=0 section Vorticity Magnitude Distribution



Vortex Core

Circulation: Γ

Coordinate: \vec{x}'

Length:



一渦輪と車両背面の距離と空気抵抗の関係
 (Case 1でのサーベイ) –

・渦輪との距離が近い部位で空気抵抗が大きい傾向.



Relationship between the Distance from Vortex Ring to Vehicle's Back and C_D



ー渦輪の循環量,車両背面との距離と 空気抵抗の関係ー 39/43

- ・渦輪の循環量および車両背面との距離を計測.
- 循環量が大きいほど空気抵抗が大きく、渦輪と車両背面との 距離が近いほど空気抵抗が大きい。





1. 背景

- 2. 供試品
- 3. 計算条件
- 4. 計算結果
- 5. 実験との比較検証
- 6. 考察

7. まとめ

地球シミュレータを用い,合計5600ノード時間の計算を実施(利用単価負担率20%).

- 高精度なLESの計算で,風洞実験での可視化や,k-εモデル 等を用いた定常計算では把握しにくい車両背面の渦構造 について,有益な知見を得ることができた.
- ・弊社内環境では1ケース約250時間を要する計算を, 約50時間で完了させることができた.

<u>今後</u>

・渦輪の循環量および車両背面との距離を決定する因子の解明
 ・精度の高いLESの計算を空気抵抗以外の性能(レーンチェンジ時の車両挙動等)に活用していきたい.

残存課題

渦輪の循環量および車両背面との距離を決定する因子の解明.



<u>剥離域内の時系列流れ(Animation)</u>

Case 1





Case 3