

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04942

研究課題名（和文）多様な障害物を考慮した閉鎖空間における複雑気流場の実用的換気解析モデルの開発

研究課題名（英文）Development of a practical ventilation analysis model for complex airflow fields in closed spaces considering various obstacles

研究代表者

木村 新太（Kimura, Arata）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：30582556

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：自動車運搬船やカーフェリー等の車両区域における換気流場は、ガーダーやウェブ等の船体構造や、積載車両等の障害物によって複雑な気流性状となる。本研究では、このような障害物の影響を考慮した車両区域における実用的な換気解析モデルを開発するとともに、当該モデルに必要な不可欠な車両後部の双子渦や厚みが薄い構造物の後部渦を再現する代数モデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、元来、応用気象学分野の大規模なスケールの気流場評価において利用されてきたMASCONモデルを、これまで適用例が無い閉鎖された空間の複雑気流場解析に応用することで実用的な気流場予測手法を開発するところにある。

本研究において構築する実用的気流場予測手法は、船舶の車両区域と類似する地下駐車場における排煙・換気解析にも応用が可能であり、本研究が評価対象とする可燃性ガスの滞留防止のような安全工学の観点のみならず、建築、空調工学分野や、衛生工学分野においてもその成果の活用が期待できる点に社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：A ventilation flow field in vehicle spaces on pure car carriers and car ferries is complicated by existence of obstacles such as girders, webs, and other hull structures, as well as loaded vehicles. In this study, we developed a practical ventilation analysis model for vehicle spaces that takes into account the effects of such obstacles, and also developed an algebraic model that reproduces the twin vortices at the rear of vehicles and the rear vortex of structures with thin thicknesses, which are essential for such a model.

研究分野：化学安全工学

キーワード：質量保存流速場モデル MASCON 後流

1. 研究開始当初の背景

水素燃料電池自動車など他分野における新規技術の普及によって、船舶分野では車両輸送の際に船舶特有の閉鎖性から可燃性ガスの漏えい起因する火災リスクが懸念されている。一方、水素燃料電池自動車を積載する大型フェリーの車両区画では、密集する車両や天井の梁の周囲に形成する渦運動や循環流が、漏えいした水素ガスの滞留性に大きく影響を与えるため、ガス爆発の予防には区画内に存在する物体による、気流場への影響を考慮した換気設計が重要となる。換気解析手法のひとつである数値流体力学（以降 CFD と略す）モデルは、物体周囲の渦流れを精度良く求めることが可能である。近年、OpenFOAM 財団が公開しているオープンソースの CFD ツールボックス OpenFOAM や米国 NIST が公開している Fire Dynamics Simulator などのオープンソース CFD コードの普及や、数値計算のための計算機の高性能化・低廉化もあって、CFD モデルによる数値解析は導入のハードルが下がっているものの、計算に要する時間コストが大きく、設計段階において多数の換気条件を解析するケーススタディに適用するのは現状においても困難である。それゆえ、短時間かつ精度のある実用的な気流場予測手法が求められている。

このような問題を背景として研究代表者は、CFD モデルを代替する実用的な気流場解析手法として、応用気象学分野の質量保存流速（以降 MASCONE と略す）モデル[1]をベースとする、Röckle の気流場予測手法[2]に着目した。Röckle は、物体回りの渦領域の速度場を、物体の幾何学量（幅 W 、奥行き L 、高さ H ）の代数式で表現し、代数式等から与えられた気流場の一次推定値を変分法を用いて気流場全体が連続の式を満たすよう修正する手法を考案した。この方法は、ビル等の建築物が林立する都市スケールの気流場を極めて短時間で得ることができるため、これを車両区域のような閉鎖された空間に応用するためには車両や船内の構造物等の物体の影響を考慮するための代数モデルの開発が必要となる。

2. 研究の目的

本研究は、応用気象学分野で用いられるビルが林立する都市部における実用的な気流場予測手法に着目し、車両等の物体が密集する船舶の車両区域を例にして、閉鎖された空間の複雑気流場予測手法に応用するための研究を行う。当該気流場予測手法の根幹である、流体の運動量保存式を補完する物体周りの速度場代数モデルについて、上記の都市部のモデルに無い様々なアスペクト比の物体に関する代数モデルを、風洞模型を用いた実験により開発する。並行して開発する気流場解析コードに、拡張した代数モデルを組み込み、風洞実験や、車両区域の気流場実計測結果と比較し、本気流場予測モデルの妥当性を検証・改善することで、実用的な気流場予測手法を構築する。

3. 研究の方法

3.1 車両後部の渦流れの代数モデルの検討

従来の物体後部の渦流れに関する代数モデルは、地面に接地しているビルのような建物が対象となっているが、車両は地面に接地していない。この点を考慮するため、地面に接地している建物に適用される代数モデルをベースに、車両後部の寸法をパラメータとし、また車両後部近傍の双子渦を再現するよう近傍の渦領域の代数式を修正を行う。比較の対象として、ミュンヘン工科大学によって開発された自動車の一般モデルである DrivAer モデルを対象として、Loughborough 大学で実施された車両模型の風洞実験結果[3]を用いることとする。

さらに、CFD モデルによる数値解析を並行して行い、計算結果を得るまでに要する時間を実用性の指標として本手法との比較を行う。

3.2 厚みが薄い板の後部の渦流れの代数モデルの検討

車両区画を評価対象とする場合、腹板、縦桁、横桁のような長手方向の長さに対して短手方向の厚みが極端に薄い物体等、アスペクト比が 1 とはならない物体が多数存在する。よって、これらのアスペクト比が 1 とはならない物体を対象とする後部の渦流れの代数モデルを開発するため、まず風洞模型を用いて薄板後部の流れ場の可視化を行い、粒子画像速度計測法によって速度場を求める。次に、従来の代数モデルをベースに修正を行い、薄板後部の流れを再現するか検討を行い、モデルを修正する。

4. 研究成果

4.1 車両後部の渦流れの代数モデルの検討結果

表 1 のように修正した車両後部の渦流れの代数モデル[4]を組み込んだ本手法は、CFD モデルよりも実験結果の再現精度は劣るものの車両後部に特徴的な双子渦を再現した（図 1）。実用性の観点から、本研究の解析モデルと CFD モデルの計算に要する時間を比較した結果、CFD モデルで 9000 秒程度の時間を要するところ本手法では約 30 秒で定常状態の気流場が得られ、約 300 倍程度計算コストに優れることが分かった。CFD モデルによる計算は 36 コアのワークステーションを用いているが、本研究の解析モデルは 8 コアのノートパソコンによるものであり、計算資

源の観点からも実用性があることが確かめられた。

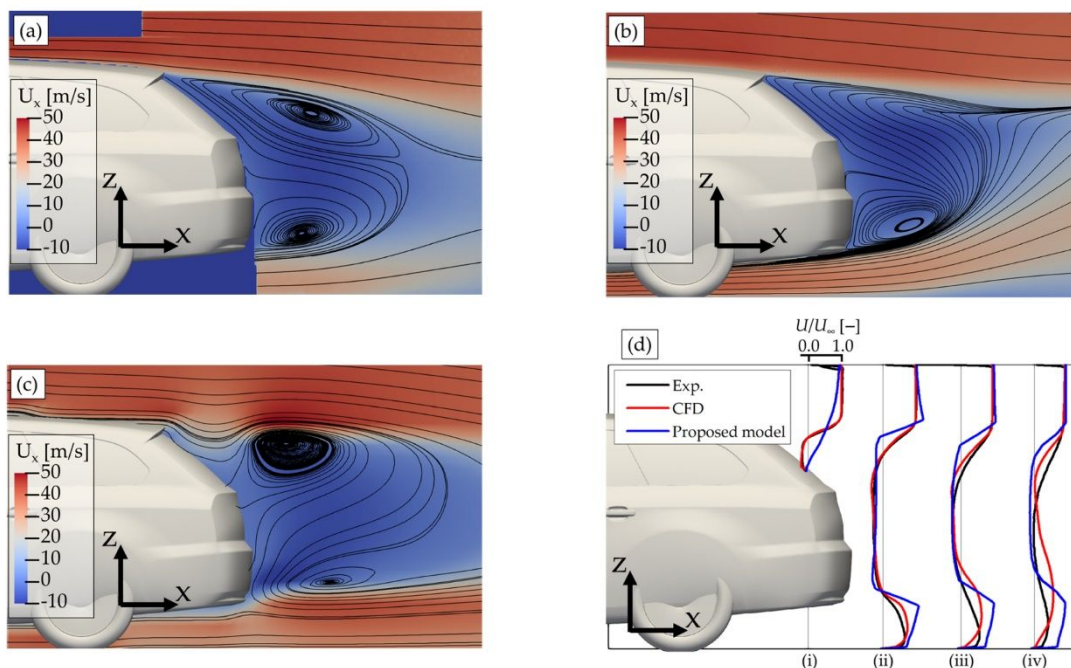


図1 車両後部の渦流れの計算結果および実験値との比較[4]. (a) 実験値、(b) CFD モデル、(c) 本手法、(d) x 軸方向の速度分布の比較

表1 代数モデルの修正前後の比較

従来手法[5]	提案手法[4]
再付着点 L_R の定義式	
$L_R = \frac{1.8W}{(L/H)^{0.3} \{1 + 0.24(W/H)\}}$	$\tilde{L}_R = \frac{1.8W}{(L/(H_v - H_f))^{0.3} \{1 + 0.24(W/(H_v - H_f))\}}$
後部の渦流れの代数モデルを適用する範囲	
$x \leq L_R \sqrt{\left(1 - \left(\frac{z}{H}\right)^2\right) \left(1 - \left(\frac{y}{W/2}\right)^2\right)}$	$x \leq \tilde{L}_R \sqrt{\left(1 - \left(\frac{z - H_f}{(H_v - H_f)/2}\right)^2\right) \left(1 - \left(\frac{y}{W/2}\right)^2\right)}$

4.2 厚みが薄い板の後部の渦流れの代数モデルの検討結果

図2に、実験結果およびCFDモデルによる解析、2つの代数モデルを用いた本手法の結果を流線図で示したものをまとめた。(c)の従来モデル[5]を用いた場合、後部の渦が実験よりも小さくなっており、うまく再現していないことが確認された。一方、(d)はPerera[6]の代数モデルのパラメータに修正を施したものであるが、試行錯誤を行ったものの十分な再現は得られなかった。速度場の値から、Pereraの代数モデルでは渦上部の主流が極端に大きくなっており、薄板の後部渦の代数モデルのベースにするには難があることが分かった。これらの検討から、(c)の従来モデルをベースに代数モデルを改良することが有望であると考えられる。

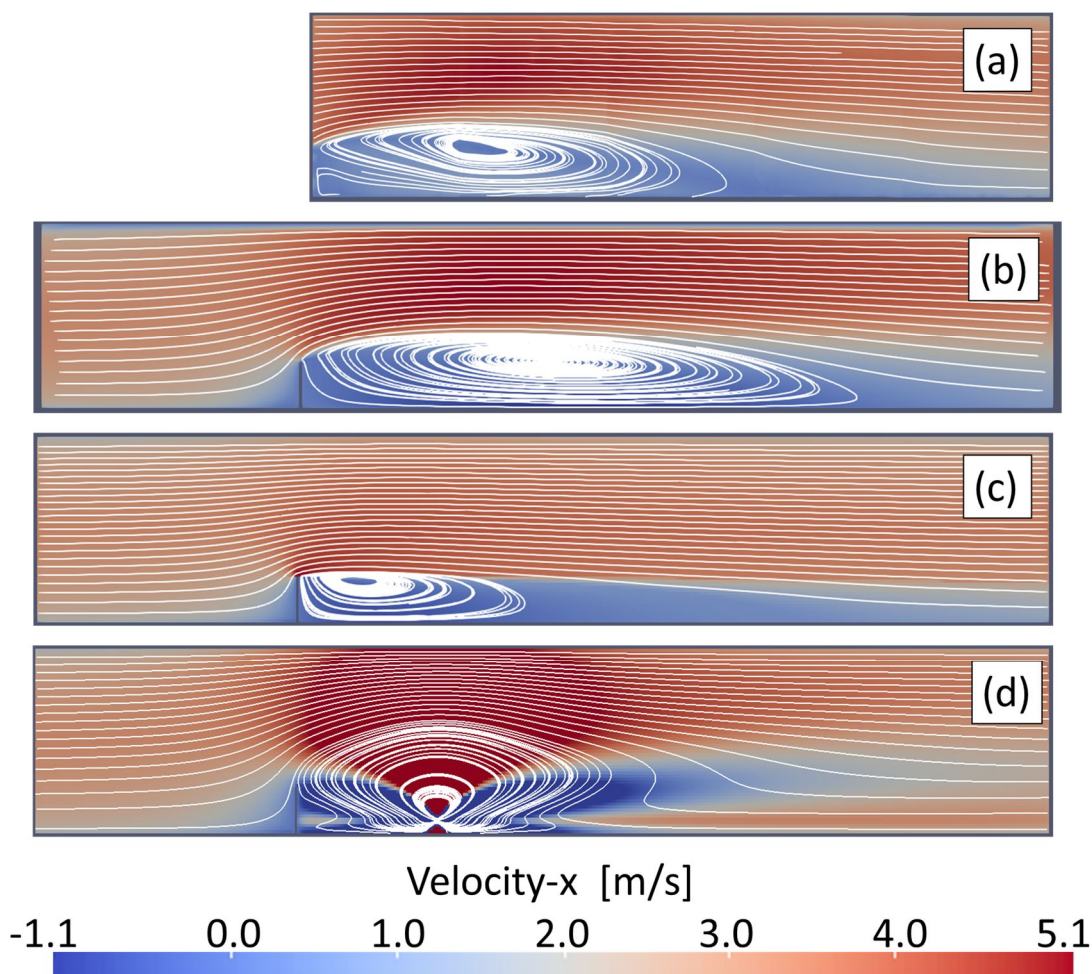


図2 薄板後部の渦流れの計算結果および実験値との比較。(a) 実験値、(b) CFDモデル、(c) 従来モデル、(d) Pereraの修正モデル

[参考文献]

- [1] M. H. Dickerson, J. Appl. Meteor., 17, 241-253(1978)
- [2] R. Röckle, Bestimmung der Stömungsverhältnisse im Bereich Komplexer Bebauungsstrukturen. Ph.D. Thesis, Vom Fachbereich Mechanik, der Technischen Hochschule Darmstadt, Darmstadt, Germany, 1990.
- [3] M.Varney et al., DrivAer Experimental Aerodynamic Dataset. Loughborough University. Dataset. Available online: <https://doi.org/10.17028/rd.lboro.12881213.v1>
- [4] A. Kimura et al., Development of an Algebraic Model of Empirical Parameterization of Near Wakes around a Vehicle. Fluids. 2021; 6(2):75. <https://doi.org/10.3390/fluids6020075>
- [5] B. Singh et al., Testing of a Far-wake Parameterization for a Fast Response Urban Wind Model. In Proceedings of the 6th Symposium on the Urban Environment/14th Joint Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology With the Air and Waste Management Association Atlanta, Atlanta, Georgia, 2 February 2006, Volume 11.
- [6] M.D.A.E.S. Perera, Shelter behind two-dimensional solid and porous fences, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 8, Issues 1-2, 1981, Pages 93-104, [https://doi.org/10.1016/0167-6105\(81\)90010-6](https://doi.org/10.1016/0167-6105(81)90010-6).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kimura Arata, Asami Mitsufumi, Oka Hideyuki, Oka Yasushi	4. 巻 6
2. 論文標題 Development of an Algebraic Model of Empirical Parameterization of Near Wakes around a Vehicle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fluids	6. 最初と最後の頁 75 ~ 75
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/fluids6020075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Asami Mitsufumi, Kimura Arata, Oka Hideyuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Improvement of a Diagnostic Urban Wind Model for Flow Fields around a Single Rectangular Obstacle in Micrometeorology Simulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fluids	6. 最初と最後の頁 254 ~ 254
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/fluids6070254	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 木村新太、浅見光史、岡秀行、岡泰資
2. 発表標題 質量保存流速場モデルを用いた車両まわりの渦流れ場に関する数値シミュレーション
3. 学会等名 安全工学シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kimura Arata, Asami Mitsufumi, Oka Hideyuki, Oka Yasushi
2. 発表標題 Development of a parameterization model of near wakes around a vehicle
3. 学会等名 COMPSAFE2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村新太, 岡秀行, 岡泰資
2. 発表標題 質量保存流速場モデルを用いた閉囲空間における複雑気流場の簡易予測手法の開発
3. 学会等名 第52回安全工学研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	岡 泰資 (Oka Yasushi) (10240764)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授 (12701)	
研究分担者	岡 秀行 (Oka Hideyuki) (80399518)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員 (82627)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------