

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04703

研究課題名(和文) Undisturbed Flowを基盤とする流体力の巨視的評価の高精度化

研究課題名(英文) Toward improved accuracy of macroscopic modeling of hydrodynamic forces based on undisturbed flow

研究代表者

横嶋 哲 (Yokojima, Satoshi)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：80432194

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：障害物を過ぎる流れは遍在し、その予測には抗力モデルが広く利用されるものの、任意の障害物群に対して適切な抗力係数をどう与えるかという本質的な困難を伴う。本研究では抗力モデルの代表速度にundisturbed flowを用いることの有用性や問題点を、円柱群を過ぎる開水路流れを対象として検討した。結果はundisturbed flowを考慮することの妥当性と、流れの非平衡性が強い領域での抗力モデルの限界を示した。Undisturbed flowの直接評価は実用的ではないため、disturbedされた流れ場からのundisturbed flowの効率的推定法の確立が今後の大きな課題となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義
何等かの障害物を過ぎる流れの高精度かつ高効率な予測に対する需要は非常に大きく、抗力係数を利用したアプローチはその有力手法であるものの、任意の障害物群に対して適切な抗力係数を設定できる一般的方法は未だ得られていない。本研究はその鍵となる代表速度に関して検討したもので、undisturbed flowの有用性を示した。本研究結果は関連研究に大きなインパクトを有し、今後のundisturbed flowの活用や効率的推定に関する新たな研究の活性化が期待できる。

研究成果の概要(英文)：A drag-force model is essential in practical predictions of flows around vegetation/urban canopies. However, the macroscopic model has a clear bottleneck: how one can obtain a proper distribution of drag coefficient for practical applications. Here particular attention is paid to undisturbed flow as a representative velocity scale required in the empirical formulation relating the drag force to an obstacle with the flow around it. The present study clearly has shown that (i) employing the undisturbed flow as the representative velocity can improve the prediction accuracy, and (ii) the prediction accuracy of the drag-force model becomes deteriorated in nonequilibrium flows. Since direct evaluation of the undisturbed flow is impractical in general, it is important to establish an efficient method for estimating the undisturbed flow from the corresponding disturbed flow field.

研究分野：環境流体力学

キーワード：キャノピー流れ 抗力モデル undisturbed flow 計算流体力学

1. 研究開始当初の背景

都市域における風環境や氾濫流，あるいは樹木群を有する大気境界層や河川流の予測において，個々の構造物や植生要素のスケールは流れの代表スケールと比較して圧倒的に小さいため，その周囲の微視的な流動を個々の要素形状を織り込んで再現するには工学的に許容できないコストを要することが多い．したがってそれら障害物群を過ぎる流動と抗力の関係を何らかの巨視的パラメータを用いて適切に表現・モデル化することが必要となる．一般に見付面積 A ，抗力係数 C_D の任意の物体に作用する力 F は，ニュートンの抵抗則に基づいて $F = (1/2)C_D\rho A|u_{rep}|u_{rep}$ のように巨視的に表現できる．ここで u_{rep} は物体に対する流体の接近速度の代表値， ρ は流体密度を表す．このモデル(以下，抗力モデルと称)は何らかの方法で抗力係数 C_D さえ設定できれば，当該障害物周辺の流況の詳細が不明であっても流体に働く抵抗力を与えるため，上述の課題に対する解決策として広く利用されてきたものの，上記のモデル式は $C_D = 2F/(\rho A|u_{rep}|u_{rep})$ とも見なせるので，適切な C_D の設定には適切な u_{rep} の理解が欠かせず，任意の障害物群に対して適切な C_D を設定できる方法は未だ確立されていない．

2. 研究の目的

本研究では，undisturbed flow (当該障害物のみを除去した系において当該障害物位置を過ぎる流れ，図1参照)が真に適切で普遍性を有する代表流速と考え，このアイデアの有効性や問題点の実証を目指す．

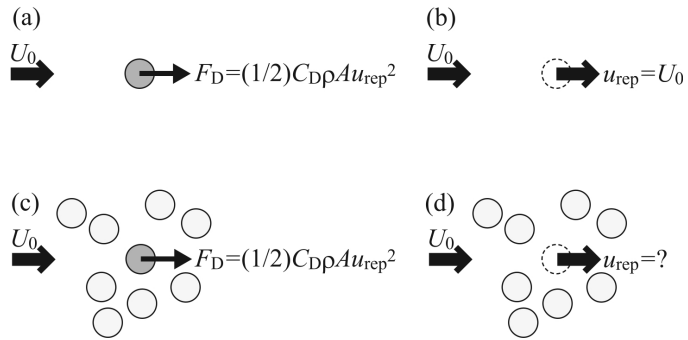


図1 抗力モデルで円柱抗力を評価する際に必要となる代表速度 u_{rep} ．(a) 孤立円柱を過ぎる流れ，と(b) (a)の円柱に対する代表速度の考え方(当該円柱を除去した場合に当該円柱位置を過ぎる流速)．(c) 円柱群を過ぎる流れ，と(d) (c)のグレーで色付けされた円柱に対する代表速度の考え方(当該円柱は存在せず，それ以外の円柱は全て存在する場合に，当該円柱位置を過ぎる流速)．

3. 研究の方法

本研究では樹木群模型(円柱群)を過ぎる直線開水路流れ(図2)を対象とした2種類の流動数値解析を行った．第1の方法は個々の障害物回りの流動の詳細を障害物サイズよりも1オーダー細かな計算格子を用いて正確に捉えるもので，以下では予備解析と呼称する．第2の方法はより粗い計算格子上で上述の抗力モデルを用いて流れの巨視的特性の再現を目指すもので，主解析と呼ぶ．上述の抗力モデルが時間平均流れレベルで成立すると仮定すれば，どの障害物も除去しない通常の予備解析から個々の円柱に働く流体力の時間平均値が，さらに個々の円柱を個別に除去した系の予備解析から個々の円柱位置でのundisturbed flowの時間平均値が得られるので，これらの情報を用いれば，undisturbed flowを考慮した抗力係数 $C_{D,un}$ が求まる．この抗力係数 $C_{D,un}$ を用いた主解析を実施し，予測結果を他の代表流速に基づく抗力係数 C_D を用いた予測結果や，予備解析結果と比較することで， $C_{D,un}$ の有用性や課題を明らかにする．

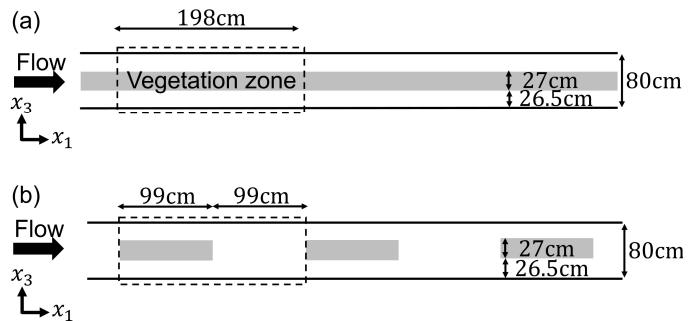


図2 円柱群を有する直線開水路流れの概略: (a) Case 1，(b) Case 2．破線の長方形領域は本研究の数値解析の計算対象領域(Case 2の幾何学的最小ユニット)を示す．

4. 研究成果

主解析から得られた時間平均主流速分布を，予備解析結果と併せて図3に示す．Case 1, 2とも，明らかに $C_{D,global}$ (代表流速に流れの断面平均流速を与えて得られる抗力係数)を用いた場合に樹木群抵抗が過小に評価されているのに対して， $C_{D,un}$ を用いた主解析では予備解析結果を良好に再現できていることが読み取れる． $C_{D,local}$ (disturbedされた流れ場から各円柱に対する接近流速を個別に算出し，代表流速とすることで得られる抗力係数)を用いた場合には，Case 1では $C_{D,un}$ と同程度に樹木群抵抗を推定できているものの，流れの非平衡性が強いCase 2では予備解析結果よりも樹木群抵抗をやや過大評価している．

本研究では図2の流れに対してundisturbed flowが抗力モデルの代表流速として適切である

ことを実証できた．他方で本研究で実施した undisturbed flow の直接評価は多大な計算コストを要するため，実学的観点からは disturbed な系から undisturbed flow を高効率かつ高精度に推定する方法の確立が欠かせず，本研究の最重要課題と言える．

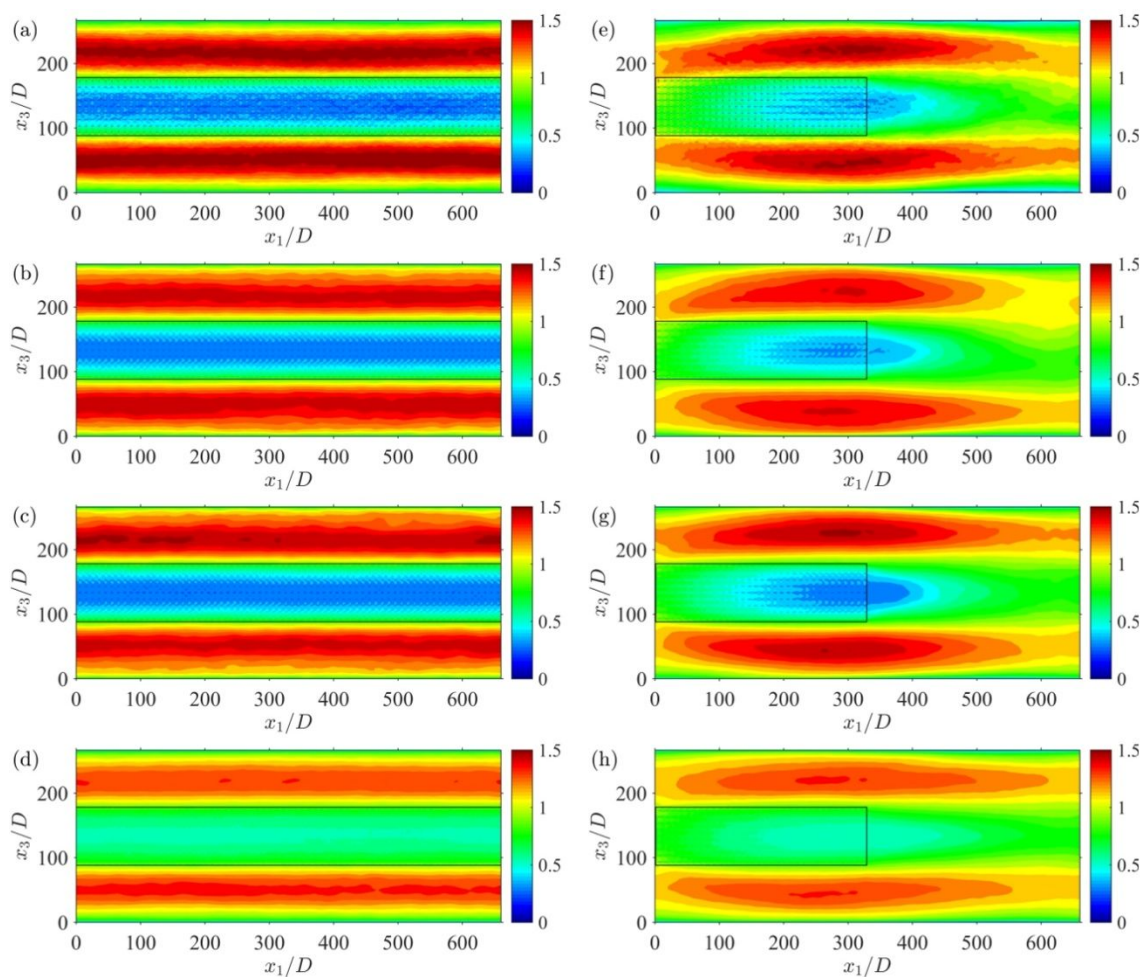


図3 時間平均主流速分布．(a) Case 1, 予備解析；(b) Case 1, $C_{D,un}$ を用いた主解析；(c) Case 1, $C_{D,local}$ を用いた主解析；(d) Case 1, $C_{D,global}$ を用いた主解析；(e) Case 2, 予備解析；(f) Case 2, $C_{D,un}$ を用いた主解析；(g) Case 2, $C_{D,local}$ を用いた主解析；(h) Case 2, $C_{D,global}$ を用いた主解析．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 平井 俊也, 横嶋 哲, 内田 龍彦, 河原 能久	4. 巻 78(1)
2. 論文標題 Undisturbed flowに基づく抗力係数分布を用いた樹木群を有する流れの巨視的数値予測法の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 23-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.78.1_23	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 富山 遼, 内田 龍彦, 小林 大祐, 鳩野 美佐子, 横嶋 哲	4. 巻 77(2)
2. 論文標題 開水路流中における非水没円柱群の流体力とその評価法に関する基礎的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_841-I_846
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.77.2_I_84	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 横嶋 哲, 平井 俊也, 安藤 丈央, 風早 祐輔, 内田 龍彦, 河原 能久	4. 巻 26
2. 論文標題 円柱群を過ぎる流れにおけるundisturbed flowの基本特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 風工学研究論文集	6. 最初と最後の頁 31-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 R. Tomiyama, T. Uchida; D. Kobayashi, M. Hatono, and S. Yokojima
2. 発表標題 Effects of an emergent cylinder in a group on water flows and evaluation of hydrodynamic force
3. 学会等名 39th IAHR World Congress, Granada, Spain (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平井 俊也, 横嶋 哲, 内田 龍彦, 河原 能久
2. 発表標題 Undisturbed flowを考慮したキャノピー流れの数値予測
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平井 俊也, 横嶋 哲, 内田 龍彦, 河原 能久
2. 発表標題 Undisturbed flowを考慮した植生流れの巨視的数値予測
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Yokojima, T. Uchida, Y. Kazehaya, and Y. Kawahara
2. 発表標題 Undisturbed fluid flow for improved macroscopic estimation of drag forces acting on circular cylinders
3. 学会等名 22nd IAHR-APD Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横嶋 哲, 安藤 丈央, 風早 祐輔, 内田 龍彦, 河原 能久
2. 発表標題 巨視的抗力モデルに要する代表流速の基本特性
3. 学会等名 第23回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2020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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------