

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760456

研究課題名(和文) 障害物による流れの遮蔽効果の解明：最適耐風設計を目指して

研究課題名(英文) Shielding effects in flows past arrays of obstacles

研究代表者

横嶋 哲 (YOKOJIMA, Satoshi)

静岡大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

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、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：都市部の構造物群や自然界の樹木群のような、多数の障害物群を過ぎる流れでは、下流側の障害物に働く力は上流側障害物の配置に強く依存する(遮蔽効果)。本研究では円柱群を過ぎる流れを数値シミュレーションにより再現し、遮蔽効果の理解とそのモデリングに供する知見の獲得を目指した。円柱を密に配置することで円柱群に働くトータルの力を抑えられ、また円柱配置パターンによる差異が小さくなる傾向が認められた。円柱群前縁では流れがせき止められ、圧力が上昇するが、そういった知見を古典的な抗力モデルに反映しても、流れの予測精度の改善効果は限定的であることが示された。

研究成果の概要(英文)：In flows past arrays of obstacles, the hydrodynamic force acting on an obstacle located on the downstream side strongly depends on the configuration of the upstream ones (shielding effects). The shielding effects and the modeling have been investigated by a series of numerical simulation of flows past arrays of circular cylinders in the present study. As the solid volume fraction of the cylinder array is increased, the total force acting on the array can be decreased and becomes less sensitive to the details of the cylinder configuration. While a high-pressure region is observed at the leading edge of the array, introducing the findings to the classical drag-force model is found not to improve the prediction accuracy of the flow significantly.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：抗力 遮蔽効果 計算流体力学 円柱群 埋め込み境界法 抗力モデル 抗力係数

### 1. 研究開始当初の背景

都市部の風環境や樹木群を過ぎる河川流の予測において、個々の構造物や植生要素の形状を正確に捉え、その周囲の流況を再現することは禁止的なコストを要することが多く、障害物の特性を何らかのパラメータで表現・モデル化することが望まれる。抗力モデルはそのような手法のひとつで、都市キャノピーや植生キャノピーを過ぎる流れの予測でよく用いられてきた。

古典的な抗力モデルでは障害物の密集度を表す表面積密度 $\lambda$ と抗力係数  $C_D$  の値を事前に規定する必要がある。表面積密度は障害物の形状が幾何学的に単純であればその定義に基づいて一意に求まるのに対して、抗力係数  $C_D$  を適切に定めるための標準的な手法は未だ存在せず、この手法の信頼性向上を図る上でのボトルネックと言える。

多数の障害物が近接して存在する場合、下流側障害物に働く力は上流側障害物の配置に強く依存（遮蔽効果）する。従って、任意の障害物配置・障害物形状に対してそれぞれの障害物に働く力（あるいは抗力係数）を予測することは現在でも非常に困難な課題である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は以下の2点に集約できる：

- (1)多数の障害物を過ぎる流れにおいて、個々の障害物およびそれらの集合体である障害物群に働く流体力について、その時間平均値およびそこからの変動成分に関する基礎的な知見を数値シミュレーションにより明らかにする。
- (2)(1)で得られた知見・データベースを用いて、古典的な抗力モデルの精度検証を行い、また精度向上を試みる。

### 3. 研究の方法

(1)においては、個々の障害物の周囲の流況を支配方程式に基づいて正確に再現した。埋め込み境界 (IB) 法を導入することによって、シンプルなデカルト座標系上でさまざまな配置パターンの円柱群や円柱列を過ぎる流れを高精度に再現することが可能となった。

(2)では IB 法によって流体力を評価する部分のみを古典的な抗力モデルで置き換え、それ以外の離散化手法や時空間解像度、境界条件は IB 法で用いたものをそのまま採用した。これによって抗力モデルの影響だけを正確に把握することが可能となる。

### 4. 研究成果

(1)では、図-1 に示すような、50本の円柱から構成される障害物群を過ぎる一様流れ

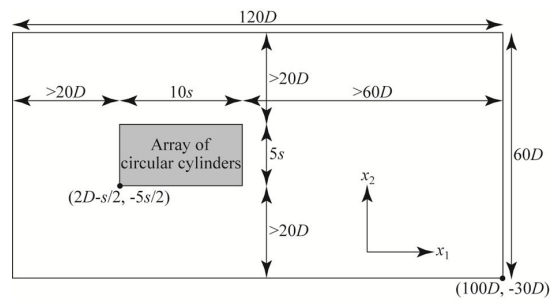


図-1 円柱群を過ぎる流れの概要。

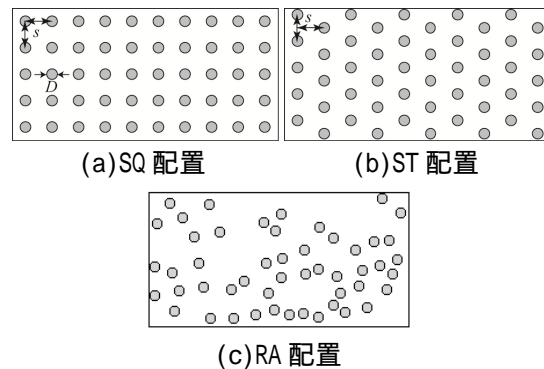


図-2 円柱の配置パターン。

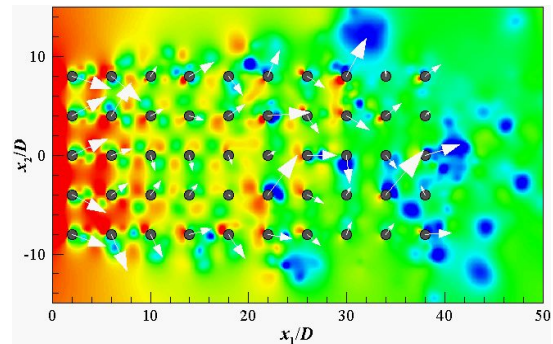


図-3 円柱群を過ぎる流れの一例

を検討対象とした。円柱群の配置パターンとして、図-2 に示す、正方格子 (SQ) 配置、スタガード (ST) 配置、およびランダム (RA) 配置の3パターンを検討した。それぞれの配置において円柱の密集度を系統的に変化させることで、さまざまな障害物群を数値シミュレーション内で再現した。

図-3 は SQ 配置で円柱中心間距離  $s$  が円柱直径  $D$  の4倍のときの、ある瞬間の圧力場と個々の円柱に働く流体力を示す。円柱群前面で高い圧力が生じ、それによって最上流に位置する円柱に強い力が働く様子が認められる。また、下流側においても個々の円柱から生じる交番渦の中心部で低圧領域が生じ、その低圧部に引き込まれるように強い力が円柱に働く様子も見受けられる。それらに比べ、円柱群の中心部に位置する円柱に働く流体力はかなり弱い傾向にあると言える。

図-4 はそれぞれのケースにおける50本の円柱の抗力係数を相加平均して得られるバルク抗力係数の値を、円柱の密集度を表す固体占有率 $\phi$  (円柱群内で固体が占有する割合)

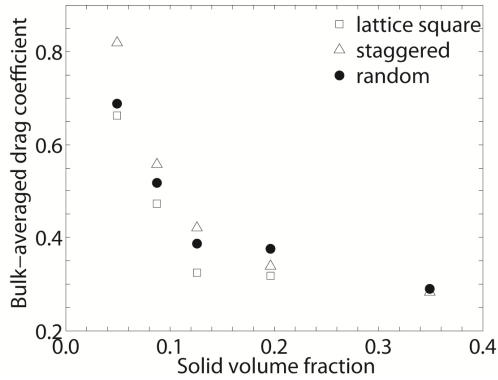
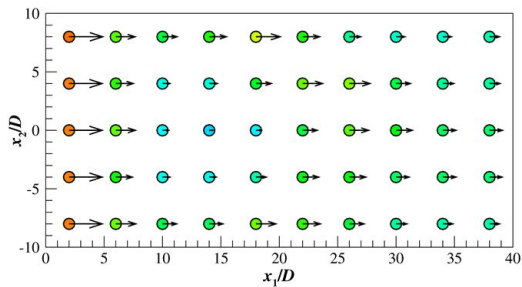
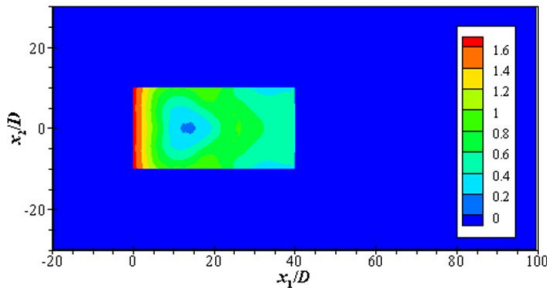


図-4 バルク抗力係数の固体占有率依存性 .



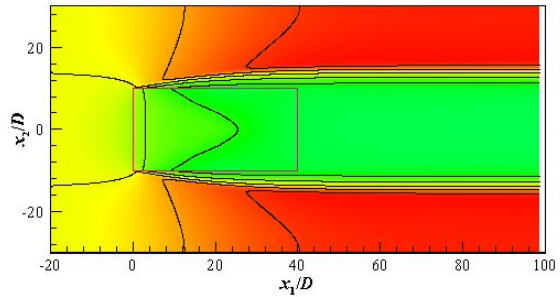
(a) 図-3 のケースにおける各円柱の抗力係数の時間平均値 .



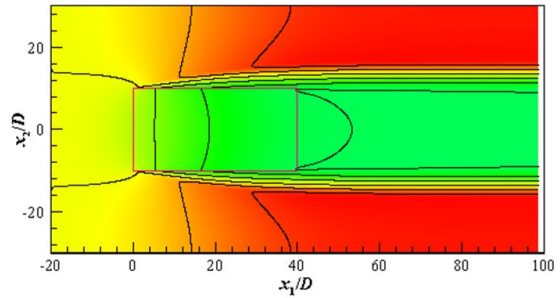
(b) (a) を基に作成した抗力係数分布 .  
図-5 抗力係数の空間分布 .

の関数としてプロットしたものを表す . ただし各円柱の抗力係数は一様流入速度  $U$  に基づくものである . 固体占有率が増加するとバルク抗力係数の値は低下しており , これは 50 本の円柱に働くトータルの力は円柱を密に配置するほど抑えられることを意味する . また , 固体占有率の値が低くなり , 円柱群が粗になるほど円柱配置パターンによる差異が広がる傾向が認められる .

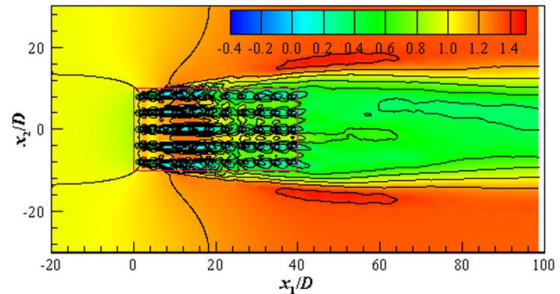
次に(2)の主要な結果を示す . 図-3 で示した IB 法による数値シミュレーションから , 各円柱の抗力係数が図-5(a) のようであることがわかった . そこでこの離散的な抗力係数分布から補間操作によって樹木群領域内で連続的な抗力係数分布を算出し ( 図-5(b) ) , それを抗力モデルに当てはめることで , 抗力モデルによる流れの再現性が改善されるかどうかを検討した . 図-5(a) は円柱群領域内だけを示すのに対して , 図-5(b) は計算領域全体での抗力係数分布を示すことに注意されたい .



(a) 抗力モデル , 抗力係数は図-5(b) .



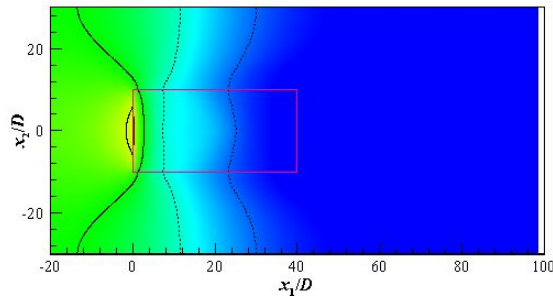
(b) 抗力モデル , 抗力係数は一様分布 .



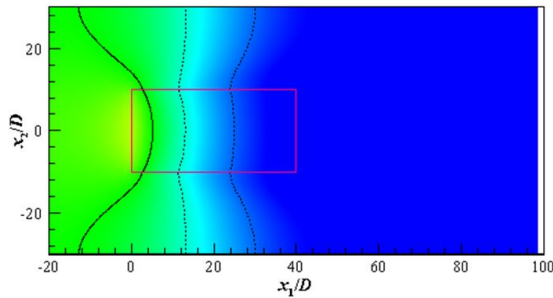
(c) IB 法解析 .

図-6 平均主流速分布 .

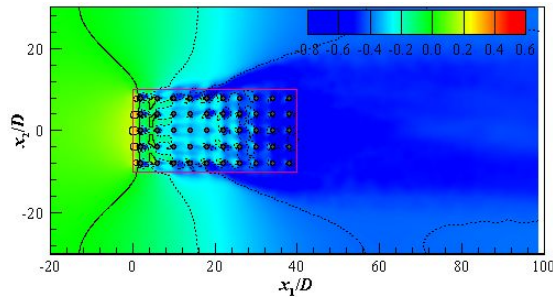
図-6 および図-7 に抗力モデルによって得られた平均主流速分布と平均圧力分布をそれぞれ示す . それぞれの図において , (a) は図-5(b) に示した抗力係数分布を与えた抗力モデルによる結果を , (b) は図-4 に示したバルク抗力係数を障害物領域内で一様に与えた場合の抗力モデルによる結果を , (c) は IB 法解析によって得られた結果を表す . 図-6 の平均主流速分布では , 抗力係数の与え方による結果の差異は顕著ではなく , (a) , (b) いずれによっても障害物群周囲の流況はおおまかに捉えられていると言える . 図-7 に示す平均圧量分布では , IB 法から得られた結果において障害物群前縁で流れがせき止められた結果 , 図-3 でも確認された高圧領域が時間平均分布でも認められるが , 樹木群領域内で一様な抗力係数を与えた(b)においてはその現象の再現性はかなり低い . 他方で図-5(b) に示すように抗力係数の障害物群内部での空間分布を考慮することで , そういったよどみ現象の再現性が向上することが図-7(a) より認められる .



(a) 抗力モデル，抗力係数は図-5(b)．



(b) 抗力モデル，抗力係数は一様分布．



(c) IB 法解析．  
図-6 平均圧力分布．

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

久末 信幸，中山 昭彦，横嶋 哲，数値シミュレーションによる部分的に水没する物体のある開水路と物体抵抗の解析，土木学会論文集 B1，68(4)，I\_1243-I\_1248，2012. 査読有．

横嶋 哲，河原 能久，山本 拓也，松原 功馬，樹木群を有する直線開水路流れにおける大規模水平渦の特性，土木学会論文集 B1，69(4)，I\_877-I\_882，2013. 査読有．

久末 信幸，中山 昭彦，横嶋 哲，開水路乱流実用解析のための LES 法の基礎的検証，土木学会論文集 B1，70(4)，I\_841-I\_846，2014. 査読有．

横嶋 哲，野田 博，河原 能久，円柱群を過ぎる 2 次元流れの抗力特性，土木学会論文集 B1，70(4)，I\_829-I\_834，2014. 査読有．

〔学会発表〕(計 11 件)

横嶋 哲，河原 能久，植生キャノピー流れの LES，日本流体力学会年会 2012，高知大学朝倉キャンパス (高知県)，2012.09.

横嶋 哲，河原 能久，植生帯を過ぎる流れの LES，第 26 回数値流体力学シンポジウム，国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都)，2012.12.

横嶋 哲，河原 能久，樹木群を有する開水路乱流の抵抗低減のための大規模渦構造の抑制の試み，九州大学 応用力学研究所，共同利用研究集会『壁乱流における大規模構造の統計法則と動力学に果たす役割』，九州大学 応用力学研究所 (福岡県)，2013.03.

Satoshi Yokojima，Yoshihisa Kawahara，Takuya Yamamoto，Effect of vegetation configuration on turbulent flows in a rectangular open channel，35th IAHR World Congress，Century City International Convention Center (Chengdu, China)，2013.09.

中山 昭彦，久末 信幸，横嶋 哲，実スケール自由水面開水路乱流の LES，日本流体力学会年会 2013，東京農工大学 小金井キャンパス (東京都)，2013.09.

Satoshi Yokojima，Yoshihisa Kawahara，Numerical investigation of drag in regular arrays of circular cylinders，66th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics，David L. Lawrence Convention Center (Pittsburgh, Pennsylvania, USA)．2013.11.

横嶋 哲，野田 博，河原 能久，円柱群を過ぎる流れの空力特性，第 27 回数値流体力学シンポジウム，名古屋大学東山キャンパス (愛知県)，2013.12.

Satoshi Yokojima，Large-eddy simulation of turbulent flows through idealized emergent vegetation，4th Japan-Korea Mini-Symposium on Modeling and Simulation of Hydraulic Flows，Yonsei University (Seoul, Korea)，2014.03.

横嶋 哲，河原 能久，円柱群を過ぎる 2 次元流れに対する抗力モデルの適用性，第 17 回応用力学シンポジウム，琉球大学 千原キャンパス (沖縄県)，2014.05.

横嶋 哲，浅岡 亮介，宮原 高志，2 次元直線水路内に設置された円柱群の抗力特性，第 17 回応用力学シンポジウム，琉球大学 千原キャンパス (沖縄県)，2014.05.

Satoshi Yokojima, Yoshihisa Kawahara,  
Katsuma Matsubara, LES of turbulent  
flows in open channel with patched  
vegetation zones, River Flow 2014 (7th Int.  
Conf. on Fluvial Hydraulics), EPFL  
(Lausanne, Switzerland), 2014.09.  
(accepted for oral presentation)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

横嶋 哲 (YOKOJIMA, Satoshi)  
静岡大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：80432194

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

河原 能久 (KAWAHARA, Yoshihisa)  
広島大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：70143823

野田 博 (NODA, Hiroshi)  
近畿大学・建築学部・教授  
研究者番号：30602221