

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04471

研究課題名（和文）都市街区内の風の揺らぎのメカニズムとガス拡散挙動の解明

研究課題名（英文）Investigation of mechanism of wind speed fluctuation and gas dispersion within urban canopy

研究代表者

道岡 武信（Michioka, Takenobu）

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：20371370

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）：理想的な街区を対象に風の揺らぎの構造およびそのメカニズムを数値シミュレーションにより検討した。まず、計算領域入口から一様流風を流入させ、理想的な街区内の流れ場を対象に数値シミュレーションを実施した結果、街区内に大規模な乱流構造（風の揺らぎ）が生成されることが明らかになった。次に、街区外の風の風向変化を変化させた解析結果から、風向変化が街区内の風の揺らぎおよび汚染物質拡散は小さいことがわかった。つまり、街区内の風の揺らぎは主に街区内のブロック（建物）で生成されることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では実街区中の汚染物質拡散に寄与する大規模乱流構造（風の揺らぎ）を詳細数値シミュレーションにより明らかにした。街区のストリートに発達した主流方向の大規模乱流構造が、建物に挟まれた主流直角方向の街区の流れにも大きな影響を与えていることが明らかになった。よって、街区内に大規模な乱流構造が生成される街区がわかれば、汚染物質が滞留しにくい街区を検討することができる重要な知見を得ることができたと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The structure and mechanism of large-scale turbulent motions (wind fluctuations) were investigated by numerical simulation in an idealized urban canyon. First, a numerical simulation was performed for a turbulent flow in an idealized urban canyon with the homogeneous laminar flow at the inlet boundary, and it was found that a large-scale turbulent structure was generated within the urban canopy. Second, the results of the different wind-direction fluctuations show that effects of them on large-scale turbulent structures and gas dispersion within the canopy are quite small. Large-scale turbulent structures within the canopy are mainly generated by block.

研究分野：都市環境

キーワード：都市街区 乱流 ガス拡散 数値シミュレーション

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

都市街区には乱流理論では説明できない低周波数の周期を有する流れ(風の揺らぎ)が存在することが次第に明らかになってきた。図1に詳細数値シミュレーションで再現された街区内の水平断面における瞬間速度分布を示すが、図1(a)では上側のストリートを通る風が、建物に挟まれた街区を横切り、下側のストリートに流れる。別の時刻の図1(b)では逆の流れとなる。このような街区を横切る風の揺らぎは比較的ゆっくりの周期で発生する。既存研究では個別の建物により生成された比較的小規模(高周波数)な乱流が、街区内の流れを支配すると考えられていたが、このような数値シミュレーションから比較的ゆっくりした流れ(風の揺らぎ)が街区内の流れ場には非常に重要であることがわかってきた。また、この風の揺らぎは街区内のガス拡散を考える上では非常に重要であると考えられ、風の揺らぎにより街路内の流れが大きく変化すると、今まで想定もしない場所で高濃度が現れる可能性もある。よって、このような風の揺らぎがどこで、どのような周期の運動であるかを把握することは非常に重要な課題であるが、詳細に関してはほとんどわかっていない。

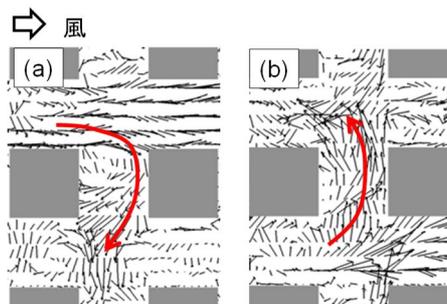


図1 街区内の風の揺らぎの概念図

2. 研究の目的

本研究では、理想的な街区を対象に詳細数値シミュレーションにより風の揺らぎの構造およびそのメカニズムを解明することを目的とした。まず、計算領域入口から一様流風を流入させ、街区内で生成される流れ場に風の揺らぎが生成されるかを検討した。次に、街区外の風に風向変化を与え、その変化が街区内の風の揺らぎおよび汚染物質拡散に及ぼす影響を検討した。

3. 研究の方法

(1) 一様流入風での風の揺らぎの検討

図2に計算領域の概略図を示す。主流、スパン、鉛直方向をそれぞれ x, y, z とする。計算領域の大きさは x 方向に 3.225 m, y 方向に 0.75 m, z 方向に 0.75 m であり、計算格子数は約 4500 万個である。街区内の建物を模擬するブロックには一辺の長さが $H = 0.075$ m の立方体を正方配列した。ブロックに対する接近流には乱流の影響を除外するために、計算領域入口から主流方向速度 3 m/s の一様流の風を流入させた。計算領域上面にはスリップ境界条件、床面およびブロック表面は nonslip 条件を適用する。また、領域の側面に周期境界条件を設定した。サブグリッドスケールモデルには Dynamic Smagorinsky モデルを用いた Large-eddy simulation (LES) にて解析を実施した。

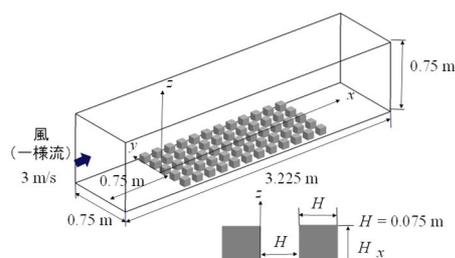


図2 計算領域の概略図

(2) 風向変動を考慮した場合の風の揺らぎの検討

図3に計算領域の概略図を示す。計算領域の大きさは、 x, y, z に 8.725 m \times 0.75 m \times 1.0 m である。計算領域入口から理想的な街区を模擬したブロック群までの距離は 6.0 m であり、乱流の流入風を生成させるために、計算領域入口から 1.0 m の位置に高さ 0.6 m のスパイヤーを主流直角方向に等間隔で 4 本、2.0, 3.0, 4.0 m の位置に高さ 2 cm の長方形ブロックを床面に配置した。都市街区を模擬したブロック高さおよび配置は 3.1 のものと同じである。最も風上側のブロック前面位置での高さ $z/H = 8$ での風速は

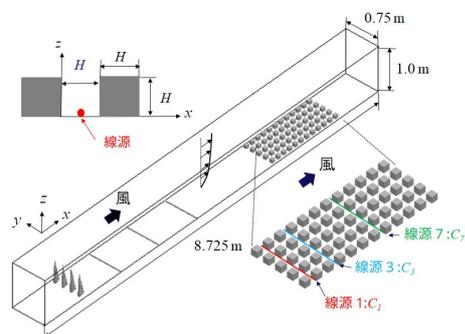


図3 計算領域の概略図

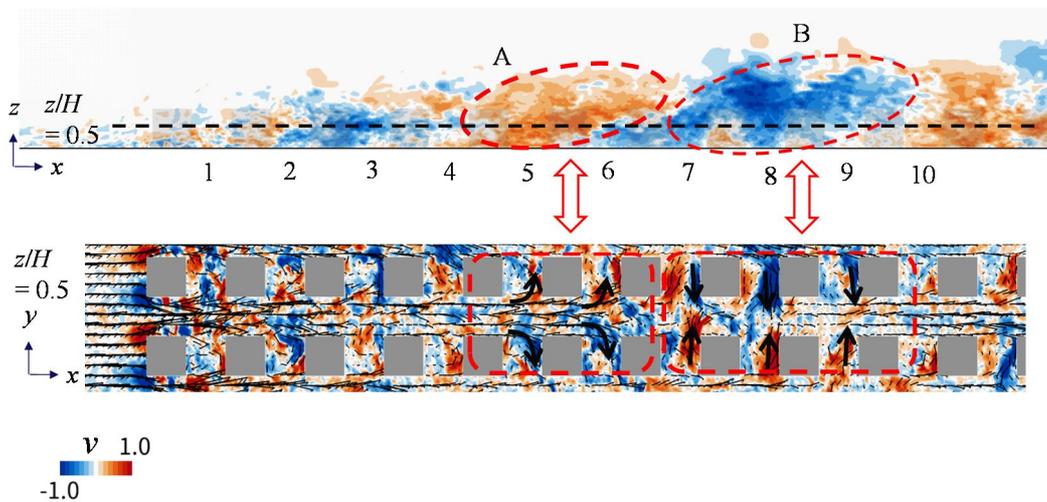


図4 ある瞬間の主流方向速度変動(u')の x - z 断面(上図)および $z/H=0.5$ でのスパン方向速度の x - y 断面(下図)

約 3.0 m/s である。計算は風向変動を考慮せず一方向に風が吹く条件(Case 1)、計算領域入口から風向の変動幅を 10° に設定した条件(Case 2)および東京都狛江市で実測された風向変動を適用した条件(Case 3)、風向角 10° に設定した条件(Case 4)を実施した。3 種類の異なるトレーサガスは、図 3 に示すように 1、3、7 列目の中央の床面から主流直角方向に一樣な線源として放出された。

4. 研究成果

(1) 一様流入風での風の揺らぎの検討

図 4 にある瞬間の主流方向速度変動の鉛直(x - z)断面およびその瞬間のブロックの半分の高さでの水平方向(x - y)断面のスパン方向速度(v)を示す。なお、主流方向のストリート側、主流方向にブロックで挟まれた領域をキャニオン側とする。鉛直断面において、5、6 列目に高速の流体塊(図中 A)、7、8、9 列目に低速の流体塊(図中 B)がストリート側に出現することがわかる。この流体塊は一定の周期で交互に出現する傾向にある。高速の流体塊がストリート側に出現した 5、6 列目(図中 A)では、キャニオン側においてストリート側から流れが流れ込んでいることがわかる。逆に、低速の流体塊がストリート側に出現した 7、8、9 列目(図中 B)では、その列のキャニオン側でストリート側へ向かう流れが見られる。このように、ストリート側に周期的に高速流体塊と低速流体塊が出現し、それらの流体塊と連動してキャニオン側の水平方向の流れの向きが変わることがわかった。この現象が街区内の風の揺らぎの正体であると考えられる。

(2) 風向変動を考慮した場合の風の揺らぎの検討

図 5 にブロックの半分の高さでのストリート側の主流方向速度変動のパワースペクトル(E_u)

およびキャニオン側のスパン方向速度変動のパワースペクトル(E_v)を示す。周波数はブロック高さ H および高さ $2H$ での平均風速 U_{ref} で正規化されている。風向変動がない Case 1 において、ストリート側の E_u の正規化周波数が約 8.0×10^{-3} にピーク値を有しており、このピークは図 3 で示す高速・低速流体塊の発生周期にほぼ対応している。また、キャニオン側の E_v も同じ位置にピーク値を有しており、スペクトルを確認してもストリート側とキャニオン側の流体塊が連動していることがわかる。風向変動を考慮した Case 2、Case 3 においてもストリート側の E_u およびキャニオン側の E_v において、正規化周波数が 8.0×10^{-3} より小さな領域においてエネルギースペクトルの値が大きくなっており、大規模な乱流塊が形成されていることがわかる。このように、

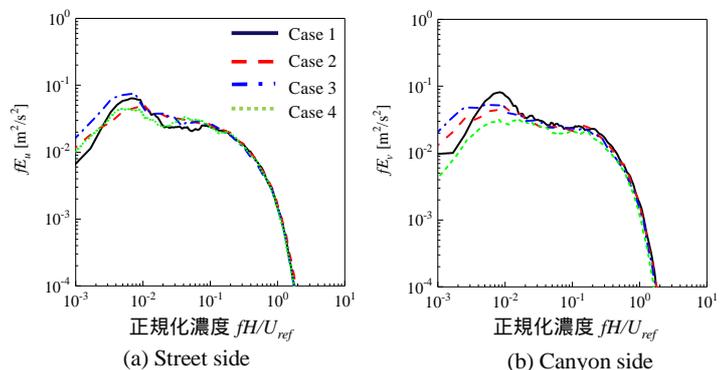


図 5 $z/H=0.25$ での(a)ストリート側の主流方向速度変動のパワースペクトルおよび(b)キャニオン側のスパン方向速度変動のパワースペクトル

このように、

風向変動を考慮した場合にも、風向変動がない場合とほぼ同様な風の揺らぎが街区内に形成されていることがわかる。

図6にブロックの半分の高さでの1、3、7列目の時間平均濃度の水平方向分布を示す。ここでは、当該列の線源から放出されたガスの濃度のみを表示する。風向変動を考慮した場合(Case 2、Case 3)でも、ほぼ風向変動を考慮していない場合(Case 1)の濃度分布に大きな違いは見られないことがわかる。また、図を省略するが、街区内のガス拡散は風の揺らぎにより大きな影響を受けることがわかった。つまり、街区内のガス拡散は街区外の風向変動の影響をあまり受けず、街区内で生成される風の揺らぎによって支配されることがわかった。

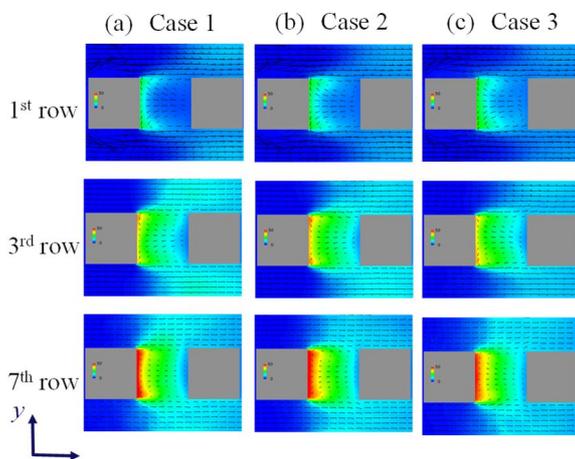


図6 $z/H=0.25$ での1、3、7列目の時間平均濃度の水平方向分布(色:正規化濃度)

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 1件）

1. 著者名 林 将史, 道岡 武信	4. 巻 55
2. 論文標題 LESによる風車後流域の排ガス拡散挙動の解明	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 大気環境学会誌	6. 最初と最後の頁 116, 124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11298/taiki.55.116	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 Takenobu MICHIOKA, Hiroshi TAKIMOTO, Hiroki Ono, Ayumu SATO	4. 巻 173
2. 論文標題 Large-Eddy Simulation of the Effects of Wind-Direction Fluctuations on Turbulent Flow and Gas Dispersion Within a Cubical Canopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Boundary-Layer Meteorology	6. 最初と最後の頁 243-262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10546-019-00467-y	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 Takenobu MICHIOKA	4. 巻 125
2. 論文標題 Large-eddy simulation for turbulent flow and gas dispersion over wavy walls	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 569-579
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.084	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12件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 道岡武信、舟木 僚、川合拓実
2. 発表標題 理想的な街区において建物配置が乱流に及ぼす影響
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 道岡 武信、舟木 僚、川合 拓実
2. 発表標題 規則的に配置されたブロック内の低周波数乱流変動の解明
3. 学会等名 日本流体力学会年会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 道岡武信、合田壮希
2. 発表標題 LESによる直列配列された建物周りの乱流に関する研究
3. 学会等名 日本流体力学会年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 道岡武信、合田壮希
2. 発表標題 直列配列された建物周りの乱流の組織的構造
3. 学会等名 第34回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 道岡武信、鈴木直弥
2. 発表標題 観測塔周りの気流を対象としたLarge-eddy simulation
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田野貴大、道岡武信、佐藤歩
2. 発表標題 格子解像度が実街区内の気流・ガス拡散に及ぼす影響
3. 学会等名 第60回 大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takenobu Michioka, Ryo Funaki, Takumi Kawai
2. 発表標題 Large-eddy simulation of turbulent flow within a regular array of cubes
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江村和樹、道岡武信
2. 発表標題 気流・ガス拡散解析(その1) - 街区内の乱流挙動の解明 -
3. 学会等名 2019年度大気環境学会近畿支部 研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤碧海、道岡武信
2. 発表標題 気流・ガス拡散解析(その2) - 街区内のガス拡散挙動の解明 -
3. 学会等名 2019年度大気環境学会近畿支部 研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道岡武信、瀧本浩史、小野浩己、佐藤 歩
2. 発表標題 風向変動が都市キャノピー内の乱流に及ぼす影響
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 道岡武信、瀧本浩史、小野浩己、佐藤 歩
2. 発表標題 風向変動が都市キャノピー内のガス拡散に及ぼす影響
3. 学会等名 第59回大気環境学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 道岡武信、瀧本浩史、小野浩己、佐藤 歩
2. 発表標題 風向変動を考慮した都市キャノピー内のガス拡散を対象としたLES
3. 学会等名 第32回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2018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
---------	---------