

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：32604

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760554

研究課題名(和文) 流れの構造解析に基づく街区空間の換気通風設計に関する基礎的検討

研究課題名(英文) Study on urban ventilation based on flow structure

研究代表者

白澤 多一 (SHIRASAWA, Taichi)

大妻女子大学・社会情報学部・助教

研究者番号：40423420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：屋根形状と建物配置の異なるモデル街区を対象にCFD解析を行い、屋根形状・建物配置が歩行者レベルの平均風速・平均濃度に影響を与えることを確認した。次に建物配置が整列と千鳥のモデル街区を対象にLES解析を実施し、各種乱流統計量を取得、運動エネルギー収支、運動エネルギー散逸率を算出した。今回の計算ケースでは建物高さが一定の場合、整列から千鳥に配置を変更することで運動エネルギー散逸率の総和は増加し、同じ整列配置でも建物高さを一定から非一様にする事でエネルギー散逸率の総和は増加した。さらに風洞実験結果のある不安定乱流境界層下の街区内の汚染物質拡散の解析を実施し、その予測精度を検証した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the influence of roof shape and building layout on flow and concentration fields were investigated by CFD simulation. Next, LES for a flowfield over an urban area was conducted to quantitatively evaluate the mean kinetic energy and turbulent kinetic energy balances and the dissipation of total kinetic energy. It was confirmed that the total energy dissipations in cases with a staggered building layout were much larger than those in cases with regular building layout, and the nonuniformity of building heights was also a significant factor that greatly increases the total energy dissipation in urban space. In addition, flow and concentration fields in a building array were predicted by CFD simulations. The prediction accuracy of the CFD simulation was assessed by comparing results with those obtained by wind tunnel experiment.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：CFD 街区空間 風通し

1. 研究開始当初の背景

ヒートアイランド対策の一つとして市街地の風通しの確保の重要性が広く認識され、いわゆる「風の道」に着目した研究が多く行われてきた。この「風の道」には大きく分けて2つの考え方がある。一つは地表レベルに連続したオープンスペースを設け、新鮮な冷気を導く「水平方向」の風の道、もう一つは建物高さのバラツキをつけることにより促進される移流・乱流拡散の効果を利用した「鉛直方向」の風の道である。既存の高密度化した都市においてオープンスペースを設け、「水平方向」の風の道を作り出すことは容易ではない。そこで、申請者らはこれまで「鉛直方向」の風の道に着目し、東京の臨海部と香港の過密地域をモデルとして、建ぺい率、容積率、建物規模や高さのバリエーションを系統的に変化させた風洞実験を行ってきた。その結果、過密地域では建物群による風の遮蔽率は高くとも、高層建物を混在させた方がはるかに地表付近の風通しが良くなるという結果を得た。しかし、複数の都市が連なり都市圏を形成した「メガシティ」といわれる巨大都市では、風上側の都市で高層建物を混在させた場合、その都市は「鉛直方向」の風の道の効果で風通しが改善されると予想されるが、空気抵抗が増加した結果、風下側に位置する都市では風通しが悪化することが懸念される。建物群による空気抵抗を増やすことなく、熱や汚染物質などのスカラー量の拡散を促進することができる都市を作ることができるのか、まだ明らかではなく、研究成果を積み重ねていくことが必要である。

2. 研究の目的

数値流体力学を用い、街区の歩行者レベルの通風・換気性状に大きな影響を及ぼすと考えられる屋根の形状、建物配置や建物間隔と街区内の流れの構造や上空の組織的な渦構造との関係を明らかにすることを最終目的とし、本研究課題では、まず、街区の屋根形状が異なる街区を対象とした CFD 解析を実施し、屋根形状が歩行者レベルの平均風速や平均濃度に及ぼす影響を確認する。また街区空間内の運動エネルギーの収支構造を分析するにあたり、主流方向の流れの駆動力の与え方について検討する。次に街区の形態が異なるが街区を対象に LES 解析を行い、各種統計量を取得し、都市空間内の運動エネルギー収支構造とその散逸について分析を行う。そして、風下側の都市への影響について検討する。また都市のヒートアイランドは非等温の現象であることから、不安定状態のより実在都市の近い街区を対象とした CFD 解析を行い、風洞実験等との比較を行い、熱拡散・汚染質拡散の予測精度の検証を行う。

3. 研究の方法

(1) 屋根形状が街区内の歩行者レベルの平均風速・平均濃度に及ぼす影響について

陸屋根、切妻屋根、片流れ屋根の住宅をそ

れぞれ整列配置した街区モデルを対象とした CFD 解析を行い、歩行者レベルの平均風速分布、平均濃度分布に与える影響を確認する。

(2) 周期境界条件における駆動力の付与方法

既往の周期境界条件を用いた解析の多くは、主流方向に圧力差を課して流れを駆動しているが、今回は主流方向に静圧勾配のない都市境界層を対象とする。この場合、市街地等の抵抗を受けて消費された運動量は上空風の持つ膨大な運動量からその一部が供給される。そこで主流方向に圧力差を与え、駆動する方式と上空境界面からの運動量供給する方式を考案し、2つの条件について、立方体で構成された街区モデルを対象に LES 解析を行い、検討する。

(3) 街区内の運動エネルギー収支構造

表1に示す計4つの街区モデルを対象に先に検討を行った周期境界条件を課した解析を行った。建物配置は整列配置と千鳥配置とし、平均建物高さ(=H)は全ケース等しく、グロス建蔽率も25%で等しい。建物高さが非一様なケースの建物高さは0.28H、0.64H、1H、1.36H、1.72H。この流れ場を対象としたLESによる解析を行い、実験では得ることが難しい各種統計量を取得する。その結果から、運動エネルギー収支式の各項を算出する。ここでは収支評価に関わる数値誤差を極力防ぐために、既往の研究を参考にコンシステントスキームによる離散式を各方程式に適用する。

表1 解析ケース

ケース	RU	SU
鳥瞰図		
建物配置	整列	千鳥
建物高さ	一樣	一樣
ケース	RN	SN
鳥瞰図		
建物配置	整列	千鳥
建物高さ	非一樣	非一樣

(4) 着目するが街区の風下側領域への影響について

市街地の形態変更は着目する市街地のみならず、その外部の環境へも何らかの影響を

与える。ここでは、着目する街区がもたらす風下側領域への風速低減への影響を、着目する街区内で全運動エネルギーがどの程度散逸するか、エネルギー散逸率により評価を試みる。

(5) 不安定状態の都市街区を対象としたCFD解析

実在の街区は、建物表面や地面が加熱されている。そこで、図1に示す不安定乱流境界層中の街区内の汚染物質拡散と熱拡散を対象にCFD解析を行い、風洞実験結果と比較し、熱的影響も考慮した街区の歩行者レベルの通風・換気性状の予測精度について検討する。

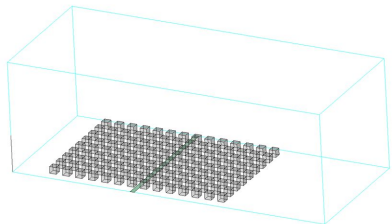


図1 解析対象の街区モデル

4. 研究成果

(1) 屋根形状が街区内の歩行者レベルの平均風速・平均濃度に及ぼす影響について

計算負荷の比較的小さいk-εモデルを用い、屋根形状の異なる街区の解析を行い、着目する街区の居住域の空間平均風速と平均濃度を算出した結果、屋根形状が街区空間の通風・換気性状に影響を及ぼすことを確認した。

(2) 周期境界条件における駆動力の付与方法

主流方向に圧力勾配を与えることにより流れを駆動するケース(ケース Press.)と今回考案した上空境界面より拡散項を介し運動量を供給することで流れを駆動するケース(ケース Moment.)を比較した。図2に風洞実験と数値解析の主流方向平均風速の鉛直分布の比較結果の一例を示す。参考に既往の研究の結果(DNS)もあわせて示した。各比較Pointにおいて、ケース間に大きな差はなく、概ね実験結果を再現していることが確認された。

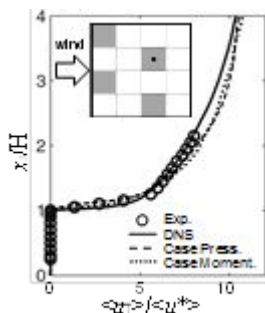


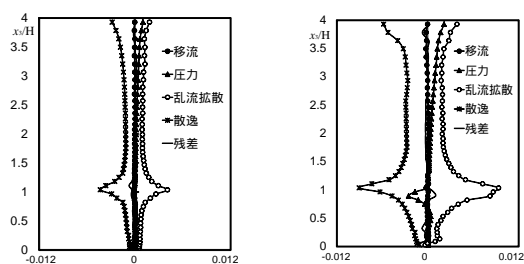
図2 立方体上空における $\langle \bar{u}_1 \rangle$

また運動エネルギーの収支構造を比較したところ、エネルギー輸送構造は両ケースで同

様の傾向が確認されたものの、今回考案した境界条件を用いることで拡散項を介し運動エネルギーが供給され流れが駆動されていることが確認された。なお、今回考案したケース Moment.の各収支構造を見ると、上空境界面付近において圧力によるエネルギー供給が生じていた。また、上空境界面から乱流拡散項を介してエネルギーを供給しているため、エネルギー散逸も上空境界面で増加していた。これらの傾向は実現象と異なるものであり、今回考案した上空境界の境界設定も一部不完全な点が残っていると考えられ、今後も改良を続けていく必要がある。

(3) 街区内の運動エネルギー収支構造

形態の異なる4つの市街地を対象に先に考案した周期境界条件を課した解析を行い、その結果から、全運動エネルギー、平均運動エネルギー、そして乱流エネルギーの収支分析を行い、街区内部の運動エネルギー収支構造を分析した。図3に運動エネルギー収支の一例を示す。今回検討したすべてのケースにおいて乱流拡散及び散逸の寄与が高く、他の項は上空境界付近で圧力の影響が一部見られるものの値が小さい。また、建物高さが一般的なケース同士および非一般的なケース同士で分布形状が類似しており、それぞれ各項の絶対値は千鳥配置の方が大きい。このことから、整列配置に比べ千鳥配置のケースの方が運動エネルギーの輸送がより活発に行われていることが分かった。建物高さが一般的なケースでは建物高さ付近に値のピークが現われ、高さが非一般的なケースでは、建物の存在する高さにとどまらず上方まで乱流拡散項および散逸項の絶対値が大きくなっていた。これは、建物高さのバラつきにより乱流拡散が活発になり、それに伴ってエネルギーの散逸量も増加したためと考えられる。



(1) RU (2) SU
図3 全運動エネルギー収支

(4) 着目するが街区の風下側領域への影響について

表2に各ケースの全運動エネルギーの散逸率の総和を示す。運動エネルギー散逸率は「単位時間に散逸する運動エネルギー」で定義される値である。建物配置が等しいケースを比べてみると、建物高さの非一様性がの増加に及ぼす影響が大きいと言える。最も風下側の領域に影響を及ぼす街区は、建物配置が千鳥状で建物高さにバラつきのあるケ

ースであった。またケース SU と RN では地表面付近の空間平均風速は同程度であったが、の総量はケース RN の方が 15 パーセント程度大きい値となっている。すなわち、着目した街区の通風・換気性状は同程度でも、建物高さや平面配置の相違により風下側の街区への影響は大きく変化していると言える。

表 2 運動エネルギー散逸率の総和

ケース	運動エネルギー散逸率の総和
RU	69
SU	125
RN	144
SN	190

(5) 不安定状態の都市街区を対象とした CFD 解析

都市街区のシミュレーションでは、LES と RANS モデルによる数値解析を行った。LES 解析を実施するにあたり必要となる流入変動風については、風洞を模擬し、LES 解析を行うことにより変動風を作成した。

解析結果の一例として、図 4 に平均濃度の鉛直分布を示す。平均風速と平均温度は模型背後において LES、RANS と実験結果に大きな差は見られなかった。しかし、平均濃度は RANS と比べて LES の方が実験値に近い結果が得られた。RANS は平均濃度を過大評価している。

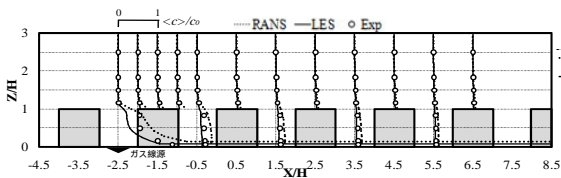


図 4 街区内の平均濃度の鉛直分布

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 0 件)

[学会発表](計 7 件)

野村佳祐、堅田弘大、義江龍一郎、Guoyi Jiang、白澤多一、都市街区内の弱風領域における非等温流れ場の汚染物質拡散・熱拡散に関する風洞実験および LES 解析、日本建築学会学術講演会、2012 年 9 月 14 日、名古屋大学

Tsubasa Okaze, Yasuyuki Ishida, Taichi Shirasawa, Akashi Mochida, Analysis of kinetic energy balance in urban area based on LES data, 8th International Conference on Urban Climates, 2012 年 8 月 7 日, Dublin, Ireland

白澤多一、石田泰之、持田灯、大風翼、LES による市街地形態の変更が都市空間の運

動エネルギー収支とその散逸の総量に及ぼす影響の分析 (その 1) 周期境界条件における駆動力付与方法のスタディ、日本建築学会学術講演会、2011 年 8 月 23 日、早稲田大学

持田灯、石田泰之、白澤多一、大風翼、LES による市街地形態の変更が都市空間の運動エネルギー収支とその散逸の総量に及ぼす影響の分析 (その 2) 市街地形態の変更が都市空間の運動エネルギー収支構造に及ぼす影響の分析、日本建築学会学術講演会、2011 年 8 月 23 日、早稲田大学

石田泰之、白澤多一、持田灯、大風翼、LES による市街地形態の変更が都市空間の運動エネルギー収支とその散逸の総量に及ぼす影響の分析 (その 3) 着目する市街地の風下側領域への環境負荷の定量評価法の提案、日本建築学会学術講演会、2011 年 8 月 23 日、早稲田大学

[図書](計 0 件)

[産業財産権]
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白澤多一 (SHIRASAWA Taichi)
大妻女子大学・社会情報学部・助教
研究者番号：40423420

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし