

Large-eddy simulation を用いた建物高さのばらつきを有する
都市キャノピー内の乱流特性の解析
Large-Eddy Simulation Study on Turbulent Flows within an Urban Canopy
with Building Height Variability

○吉田敏哉・竹見哲也
○Toshiya YOSHIDA, Tetsuya TAKEMI

The influences of urban buildings on turbulent flows are quite complicated because of the heterogeneity of urban surfaces. The effects of building-height variability are still not well known since most studies have investigated the turbulent characteristics over block arrays with uniform height. To reveal the relationships between the turbulent flows and building-height variability, we conducted large-eddy simulation over an array of blocks with variable height. The results indicate that mixing length has local variations in response to the variability of building height and dispersive flux largely contributes to sum of momentum flux over block arrays with high building-height variability.

1. はじめに

人口構造物で被覆された都市地表面は気象環境を大きく変えるインパクトをもち、ヒートアイランドや大気汚染といった都市特有の環境問題を引き起こす。これらの諸問題解決に向けて構造物が流れ場に及ぼす影響の理解が進められてきた。多くの先行研究では高さが一様なブロック列上の流れ場を対象としてきたが、現実の都市構造物は高さの非一様性が大きいと、一様高さのブロック列を使用した研究のみでは不十分と考えられる。実際、高さのばらつきを有するブロック列を使用した近年の研究により、乱流統計量は建物高さのばらつきの影響を大きく受けることが示されており、高さのばらつきを考慮した都市パラメタリゼーションの構築も進められつつある。一方で、空間非一様性の強いキャノピー近傍の乱流特性への影響は十分明らかになっていない。そこで本研究では建物高さのばらつきを考慮したキャノピー内流れ場の解析を行った。

2. 計算設定

本研究では中立成層大気を対象とし、高さのばらつきを有するブロック列を用いた Large-eddy simulation(LES)を実行した。計算領域は主流方向 4 km・スパン方向 2.4 km で、水平解像度は 2 m とした。計算領域内には図 1 で示されたようなブ

ックが繰り返し並べられている。建物高さのばらつきの影響を調べるために、建物高さの標準偏差と平均高さ H_{ave} の比 V_h が 0.0, 0.5, 1.0 となるようなブロック列を用いた。ブロックの密度を示す建ぺい率 λ_p は 0.25 としている。本研究では流入境界に別計算領域で作成した乱流境界層流をタイムステップ毎に与えている。また、以下で述べる統計量は計算領域下流で時間空間平均されたものである。

3. 結果

図 2(a)に混合長 l_m の鉛直プロファイルを示す。混合長は鉛直シアと乱流運動量フラックスを用いて、 $l_m = (-\overline{u'w'})^{1/2}/(dU/dz)$ として計算した。 $V_h = 0.0$ の値はキャノピー内に極大値をもつようなプロファイルとなっており、この特徴は既往研究の結果と一致する。 $V_h = 0.5, 1.0$ のケースでは 2 つの高度でピークが現れており、これらのケースの地表面には大小 2 つのブロックが存在しているためと考えられる。ここで、気象モデル内で使用される多くの都市キャノピーモデルでは、キャノピー内の混合長は一定もしくは高度とともに単調増加する形で与えられている。よって、より精緻な都市キャノピーモデルの構築には、図 2(a)に見えられるような混合長の複雑な鉛直変化を考慮する必要があることを示唆する。

図 2(b)は乱流運動量フラックスと dispersive flux

の比を示す。dispersive flux は時間平均の空間変動によるフラックスを意味し、キャノピー内のような水平非一様な場において正味のフラックスに大きく寄与することが知られている。図から、dispersive flux は建物高さのばらつきが大きいほどより高い高度まで存在していることが分かる。また、高さのばらつきが大きくなるにつれ、乱流運動量フラックスに対する dispersive flux の比率は増加する傾向にある。ほとんどのキャノピーモデルでは運動量フラックスを計算する際に dispersive flux を含んでいないが、これらの結果は建物高さのばらつきが存在する都市キャノピーにおいて dispersive flux を考慮する必要があることを示唆する。

4. まとめ

本研究では建物高さのばらつきの影響を評価するため、高さのばらつきを有するブロック列上の LES を行った。その結果、混合長は建物高さのばらつきをもつキャノピー内で複雑に鉛直変化することを示した。また、dispersive flux が存在する高度は高さのばらつきとともに増加し、乱流運動量フラックスに対する比率も大きくなることが示された。

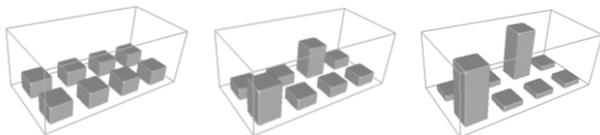


図 1: 計算領域に配置されたブロック列。(左) $V_h = 0.0$, (中) $V_h = 0.5$, (右) $V_h = 1.0$ 。

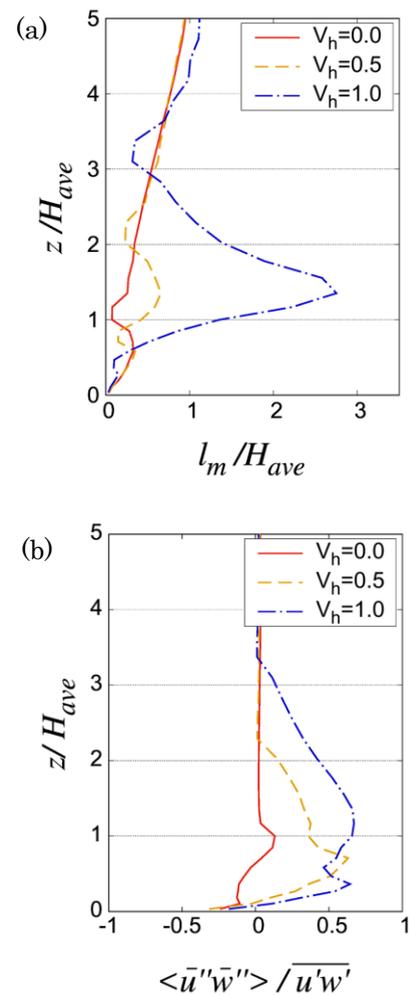


図 2: (a) 混合長の鉛直プロファイル, (b) 乱流運動量フラックスと dispersive flux の比の鉛直プロファイル