

大気乱流による運動量輸送過程に及ぼす都市構造物群の建物高さのばらつきによる影響  
 Effects of Building-Height Variability of Urban Buildings on  
 Momentum Transport Process of Turbulent Flow

○吉田敏哉・竹見哲也

○Toshiya YOSHIDA, Tetsuya TAKEMI

Effects of building-height variability on momentum transport process of turbulent flow are investigated by conducting large-eddy simulations for airflows over arrays of roughness obstacles with variable height. We evaluate differences among three simulations of flows over obstacles with no, moderate, and high building-height variability. Building-height variability largely influences the magnitude and vertical profiles of dispersive stress. In the simulations with building-height variability, large values of dispersive stress fractions exist around the higher obstacles. Thus, the higher obstacles have a significant contribution to the production of dispersive stress over roughness obstacles with building-height variability.

## 1. はじめに

都市化の進行に伴い、都市の高温化（ヒートアイランド現象）や人工排出物の増大による大気汚染といった都市特有の環境問題がより深刻化している。これらの問題の予測には都市域における代表的な風速プロファイルを知る必要がある。ここで、大気乱流による運動量の輸送は風速分布に大きく影響するため、都市上の正確な風速プロファイルを得るには、大気乱流による運動量輸送過程の実態を把握することが重要である。

多くの先行研究では、高さが一様な粗度ブロック列上の大気乱流を対象に運動量輸送過程の理解を進めてきた。しかし、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、近年の研究は、高さのばらつきを有する粗度ブロック列上における運動量輸送は、高さ一定の粗度ブロック列上と大きく異なることを示している。ただし、建物高さのばらつきの有無により、どのように大気乱流の運動量輸送過程が変化するかといった詳細な解析は十分行われていない。そこで、本研究では高さのばらつきを有する粗度ブロック列を対象とした Large-eddy simulation (LES) を実行し、大気乱流による運動量輸送の特徴を調べた。

## 2.1 計算設定

本研究では中立成層大気を対象とし、高さのばらつきが異なる粗度ブロック列を用いて、3 ケースの計算を行った。高さのばらつきの違いは建物高さの標準偏差と平均高さ  $H_{ave}$  の比  $V_h$  を用いて決定した。3 ケースの設定は、それぞれ、高さ一定のケース ( $V_h=0$ , V00)、高さのばらつきが中程度のケース ( $V_h=0.5$ , V05)、高さのばらつきが大きいケース ( $V_h=1.0$ , V10) である。各ケースの粗度ブロック列を図 1 に示した。これらの粗度ブロック列を単位粗度ブロック列とし、主流方向 4 km・スパン方向 2.4 km の計算領域に繰り返し並べ、計算を実行した。水平解像度は 2 m とした。粗度ブロックの密度を示す建ぺい率 (Plan Area Index)  $\lambda_p$  は 0.25 とした。また、本計算では流入境界条件として、別計算領域で作成した境界層乱流をタイムステップ毎に与える手法を用いた。以下の解析には計算領域下流の領域で得たプロファイルを使用している。

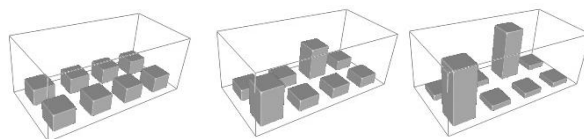


図 1: 各ケースで用いた単位粗度ブロック列。  
 (左) V00, (中) V05, (右) V10.

## 2. 解析方法について

## 2.2 構造物群上の運動量輸送

都市域のような空間非一様な地表面上における時間空間平均した運動量輸送は以下のように書ける。

$$\langle \overline{uw} \rangle = \langle \overline{u'w'} \rangle + \langle \overline{u''w''} \rangle \quad (1)$$

ここで、 $\overline{(\quad)}$  は時間平均、 $(\quad)'$  は時間平均からの偏差、 $(\quad)''$  は空間平均、 $(\quad)''$  は空間平均からの偏差である。式(1)の右辺第1項は非定常な乱流による運動量輸送(レイノルズ応力)、第2項は時間平均流の空間変動によって生じる運動量輸送(dispersive stress)である。以下では、知見の乏しい dispersive stress について、建物高さのばらつきによる影響を示す。

## 3. 結果

図1は、dispersive stress の鉛直プロファイルである。図より、高さのばらつきの増加に伴い、dispersive stress の絶対値も大きくなるのが分かる。また、V05とV10のプロファイルは、粗度ブロックの平均高さ  $H_{ave}$  よりも高い高度まで dispersive stress が存在することを示している。よって、建物高さのばらつきは、dispersive stress の大きさやプロファイルの形状にとって重要なパラメータといえる。

図3は、 $\overline{u''w''}$ (dispersive stress 要素)の鉛直断面図である。V00のケースでは、正の  $\overline{u''w''}$  はブロック前面側、負の  $\overline{u''w''}$  はブロック間後面側に集中している(図3(a))。また、各ブロック間の分布にほとんど違いは見られない。一方、V10のケースでは、高い粗度ブロックの周辺に大きな  $\overline{u''w''}$  が集中している(図3(b))。特に、高いブロック後面側の広い領域で負の  $\overline{u''w''}$  が分布しているのが分かる。このように、高さのばらつきを伴う粗度ブロック列の場合は、高い粗度ブロックが大きな dispersive stress 要素を生じさせ、(dispersive stress 要素を空間平均した) dispersive stress のプロファイルについても大きな値を示したことが分かった。

## 4. まとめ

本研究では大気乱流の運動量輸送過程に及ぼす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粗度ブロック列を対象としたLESを行った。その結果、dispersive stress の鉛直プロファイルにとって、建物高さのばらつきは重要なパラメータであることを示した。また、その要因として、高さのばらつきを伴う粗度ブロック列の場合、高い粗度ブロック周辺に大きな

dispersive stress 要素が生じるためであることが分かった。

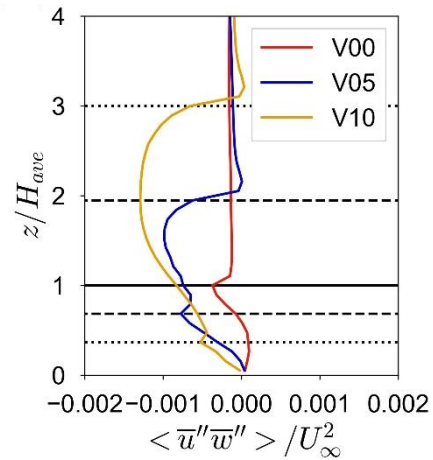


図2: dispersive stress の鉛直プロファイル。  $U_\infty$  は境界層上端の風速。実線は V00, 破線は V05, 点線は V10 の粗度ブロック高さを示す。

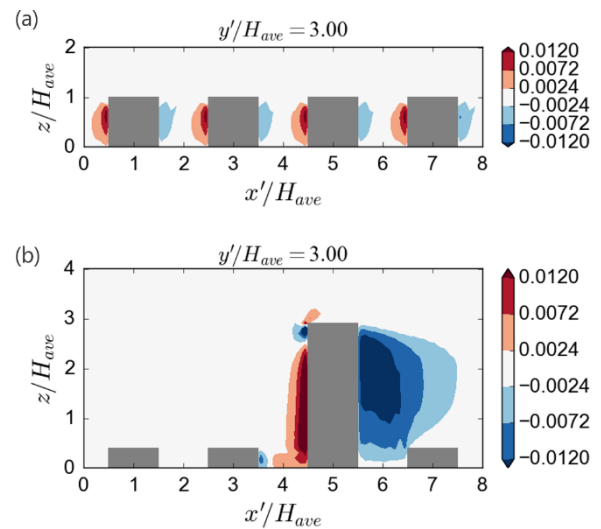


図3: dispersive stress 要素  $\overline{u''w''}$  の鉛直断面図。(a)V00, (b)V10.