

実街区体系の LES による市街地キャノピー内の局所的な風の増速の評価 Evaluation of Local Wind Speed-up in Urban Canopy by LES with Real Urban Model

- 村上 貴裕, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, murakami@criepi.denken.or.jp
- 服部 康男, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, yhattori@criepi.denken.or.jp
- 中尾 圭佑, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, nakao@criepi.denken.or.jp
- Takahiro Murakami, CRIEPI, 1646 Abiko, Abiko-shi, Chiba, Japan
- Yasuo Hattori, CRIEPI, 1646 Abiko, Abiko-shi, Chiba, Japan
- Keisuke Nakao, CRIEPI, 1646 Abiko, Abiko-shi, Chiba, Japan

Wind flow filed in a middle-high-rise building area is computed by a large eddy simulation with a real urban model. The result shows the occurrence of local wind speed-up around the high buildings, streets and waterways. The cross-sectional plan area and frontal area indices $\lambda_P(z), \lambda_F(z)$ at height z are derived from the building height data of the real urban model for local domains. Although the correlation coefficients between the distribution of the geometric parameters such as the local $\lambda_P(z), \lambda_F(z)$ and the wind velocity depend on the integration area and the cross-section height for their estimations, these parameters with appropriate integration condition have good correlation to the velocity distribution. The comparison between the local wind speed and $\lambda_F(z)$ shows the possibility of the estimation of the local speed-up spot in urban.

1. 緒言

2018 年の台風 21 号, 24 号では都市部の市街地においても既往最大風速を超える強風が観測され, 多数の家屋の損壊や車両の横転, 飛来物や樹木倒壊による配電線の断線や配電柱の倒壊被害が生じた. 一般に市街地では建物による粗度が大きく, 建物による直接的な遮風効果を相まって, 平均的に風速が弱まる傾向があるが, 建物群の粗密差や高層建物や大規模建造物回りや風の通り道となる大通りや水路などの様々な要因によって局所的に風が強まる場合がある. このような地理的な条件に応じた市街地内の気流の変化は, 大規模な数値シミュレーションによってその性状が明らかにならなければならない⁽¹⁾. また, 精緻な数値シミュレーション結果や風洞実験データなどから建物の配置条件から求めた都市の統計的なパラメータから, 粗度長やゼロ面変位などの地表近傍の風速分布を代表するパラメータを算定するモデルも多く提案されており^(2,3), 比較的簡易的な方法で市街地の気流の推定もできるようになりつつある. しかしながら, これらの統計的なパラメータに基づく手法の多くは比較的広域に一様性の高い市街地での適用性は高いものの, 非一様性が強く局所的な強風が強い場では適用性に限界がある. 近年では建物情報から得られる従来の統計パラメータを拡張し, 市街地内での空間的な粗度パラメータの変化を捉えるモデルも検討されている⁽⁴⁾. 前述の台風の被害を見ると, 同じ市街地の中でも被害の強弱に大きな差があり, 当然構造物側の強度の差による影響が大きいと考えられるものの, 局所的な風速差の影響もあり, 設備の設計や被害の予測の観点から, 気流場の空間的一様性に関する知見を建物情報から推定することは有用と考えられる. そこで本研究では, 実街区内の建物を精緻に再現したモデルを用いてラージエディシミュレーションを行い, そこで得られた市街地内の風速分布と建物情報から得られる統計パラメータとの比較により, 都市パラメータに基づく市街地内における高風速域推定の可能性を検討する.

2. 解析条件

解析対象とした実街区は図 1 に示すように中高層建物が並ぶ湾岸地域を対象とし, 縮尺 1/200 の計算格子を用いた. 所定の基準点から実スケール換算で風上 600m, 風下 200m, スパン方向±250m

(以下, 空間スケールは全て実スケール換算で表記する) の領域内の建物を概ね 1m 程度の解像度で可能な限り模擬している. 解析領域は風上 1500m, 風下 1000m, スパン方向に±500m とし, 基準点より遠方では建物は模擬せず, 陸上と水面のみを区別している. ここで水面における境界条件は対数則として, 陸上では粗度長 $z_0=1\text{m}$ とした. これは建物が模擬していない領域でも実際には陸上に低層建築物が多く並んでいるため, 陸上の地表風が過剰に評価されないように模擬的な粗度長として与えたものである. LES コードは Front FlowRed/NuFD を用いており, 流入風条件は主流方向に地上高さ 12m で 3m/s とするべき指数 0.1 の鉛直方向分布を与え, 他の成分および乱れはゼロとした. 出口境界では境界面垂直方向の勾配をゼロとする自由流出境界, スパン方向境界・天井面境界ではすべり境界とした. また, 建物との境界面では対数則を与えた.

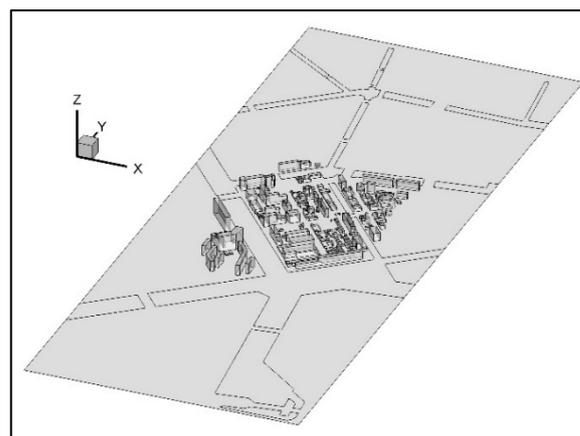


Fig. 1 Real urban model for LES

3. 解析結果

(1) 低層部の風速分布

地上高さ 12m および 24m における平均風速分布を図 2 に示す. 高さ 24m では建物に直接流れが阻害される場所が比較

的少なく、建物周りで増速が見られる。また、街区端部から比較的吹走した場所でも建物周辺で局所的な増速も見られる。一方、高さ 12m では建物に直接流れが阻害される場所が多くなり、街区端部で発生した増速域の伝播を除いて、目立った増速は見られない。

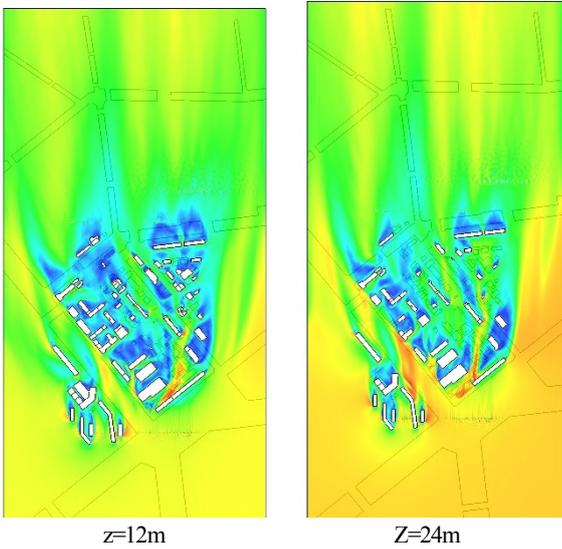


Fig. 2 Average velocity

(2) 都市パラメータについて

建物情報から得られる一般的な都市パラメータとして Plan area index (λ_p), Frontal area index (λ_f) が挙げられる。図 3 は解析領域の建物を模擬したエリア周辺の 400m×600m の建物高さ分布を示しており、この範囲において λ_p , λ_f はそれぞれ 0.26, 0.2 となる。さらに、エリア内での建物平均高さ (H_{av}) は 21.8m, 建物最大高さ (H_{max}) は 60m である。 λ_p , λ_f , H_{av} , H_{max} や建物高さ分布の標準偏差などを用いた粗度長さゼロ面変位の算定モデルが多く提案されており、建物情報から平均的な風速の鉛直方向分布を推定することが可能である。

さらに、都市部のように建物の高低差が大きい場所では、 λ_p , λ_f では十分に都市の性状を表すことが難しいことから、これらを変数に拡張した次式で示されるパラメータも提案されている。

$$\lambda_p(z) = \frac{A_p(z)}{A_T}$$

$$\lambda_f(z) = h_F \frac{P_F(z)}{A_T}$$

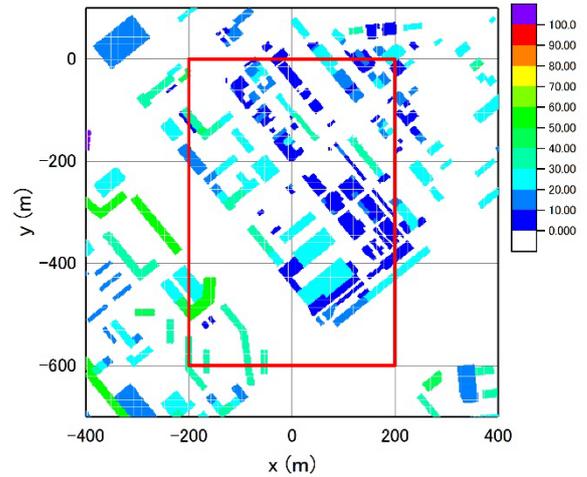
ここで、 $A_p(z) = \sum A_{pi}(z)$ は高さ z のスライス面における建物断面積の総和であり、 $A_{pi}(z)$ は i 番目の建物断面積である。また、 $P_F(z) = \sum P_{Fi}(z)$ は高さ z のスライス面において風上方向で投影したときの建物幅の総和である。また、 h_F は次式で定義される Frontal area の重み付け平均高さである。

$$h_F = \frac{\sum h_i P_{Fi}(z)}{\sum P_{Fi}(z)}$$

ここで、 h_i は i 番目の建物高さである。

また、Ramirez らは $\lambda_p(z)$, $\lambda_f(z)$ を用いて、ストライプ状に分割したエリア毎の $\lambda_p(z)$, $\lambda_f(z)$ などから、局所的な粗度

長、ゼロ面変位の評価を行っている。図 3 に示されるような建物の高低差が顕著な場所では風速の空間的な分布が複雑となり、局所的に高風速域が生じるが、局所的な粗度パラメータ評価への適用性が見られる $\lambda_p(z)$, $\lambda_f(z)$ を指標とすることで、局所的な高風速域の推定が簡易に行うことが出来る可能性が有り得る。そこで、以下で $\lambda_p(z)$, $\lambda_f(z)$ などのパラメータを局所的に求め、それらのパラメータの空間分布を数値シミュレーションで得られた風速分布との相関を評価し、都市パラメータから市街地内における高風速域推定の可能性を検討する。



$$\lambda_p = 0.26, \lambda_f = 0.20, H_{av} = 21.8m, H_{max} = 60m$$

Fig. 3 Height map of buildings

(3) 風速分布と都市パラメータの相関

局所的な範囲で算出した $\lambda_p(z)$, $\lambda_f(z)$ と風速とを比較した一例を図 4 に示す。ここで、 V/V_0 は代表高さ (=12m) における流入風風速で規格化した地上高さ 24m の風速であり、 $\lambda_p(24)$, $\lambda_f(24)$ はスパン方向 ±50m, 風上方向 100m の範囲内で算出している。図 4 は $y = -195m$ 地点でのスパン方向分布を示しており、風速と $\lambda_p(24)$ および $\lambda_f(24)$ との間に負の相関が見られ、特に強風域では $\lambda_p(24)$ および $\lambda_f(24)$ の値が落ち込むといった傾向が見て取れる。

図 4 では $\lambda_p(z)$, $\lambda_f(z)$ を 100m 四方の積分範囲で求めているが、これらの値は積分範囲に依存し、積分範囲条件によっては図 4 のような相関が得られないことが考えられる。そこで、表 1 に示す 9 ケースの積分範囲に対して $\lambda_p(z)$, $\lambda_f(z)$ を求めた。図 5 に各積分範囲ケースに対して、 V/V_0 と $z = 0m, 12m, 24m, 36m$ における $\lambda_p(z)$, $\lambda_f(z)$ および h_F との相関を示す。図 5 より風速分布と各パラメータとの相関係数は、積分範囲や $\lambda_p(z)$, $\lambda_f(z)$ の評価高さによって大きく異なることが分かる。特に風上積分距離は相関係数に大きく影響し、風上積分距離が短いと相関係数が著しく低下する傾向が示されている。これは図 2 からわかるように、建物の影響によって生じる風の増減速が比較的遠方の下流に伝播することに対応していると考えられる。

また、 $\lambda_p(z)$, $\lambda_f(z)$ は風速との相関において、概ね同様の傾向を示しているが、平均すると $\lambda_f(z)$ の方が若干良い相関となっている。さらに、 h_F でも Case3 の条件では比較的良好な相関が見られるが、積分範囲条件によって著しく相関係数が

低下する。

$\lambda_P(z)$, $\lambda_F(z)$ の評価高さに関しては、 $z=36m$ の場合は著しく相関係数が低下し、対象とする風速分布の高さよりも高い位置で評価された $\lambda_P(z)$, $\lambda_F(z)$ と風速分布との相関は小さくなる事が示唆される。図5では地上高さ24mにおける風速分布を対象として各パラメータとの相関係数を評価しているが、図6に示されるように、地上高さ12m, 36mにおける風速分布と $\lambda_P(z)$, $\lambda_F(z)$ との相関と比較すると、良い相関が得られる $\lambda_P(z)$, $\lambda_F(z)$ の評価高さは対象とする風速分布の高さによって異なる事が分かる。概ね、対象とする風速分布の高さと同程度の高さで $\lambda_P(z)$, $\lambda_F(z)$ を求めると比較的良好な相関が得られる傾向が示されている。

(4) 高風速域の推定

以上の結果を踏まえ、ここでは地上高さ24mにおいて局所的に風が強い場所を $\lambda_F(24)$ から推定できるかを検討する。図7はそれぞれ $y=-295m, -195m, -95m$ のライン上で10m毎に抽出した地点で、風速値と $\lambda_F(24)$ をプロットした結果を示しており、風速が大きい場所ほど $\lambda_F(24)$ が小さい事が分かる。この結果から、 $\lambda_F(z)$ によって高風速となる可能性がある地点の推定がある程度可能と考えられるが、風速が非常に小さい場所でも $\lambda_F(z)$ が小さくなる地点が多く、高風速域を十分に絞り込まれているとは言えない。今回対象とした風速場は風向に対して建物や通りが斜め方向の分布しており、街区低層部の風向は流入風と異なっている事が示されており⁽⁵⁾、 $\lambda_F(z)$ の積分範囲も単純に流入風に沿った向きとするだけでは不十分な可能性もあり、更なる検討が必要である。

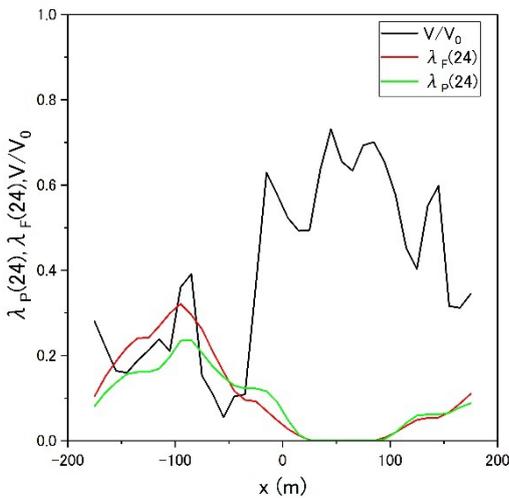


Fig. 4 Distribution of Geometric parameters

Table 1 Integration range for $\lambda_P(z)$, $\lambda_F(z)$

Case	Span (m)	Upwind (m)
1	±10	20
2	±10	5
3	±10	100
4	±25	20
5	±25	50
6	±25	100
7	±50	20
8	±50	50
9	±50	100

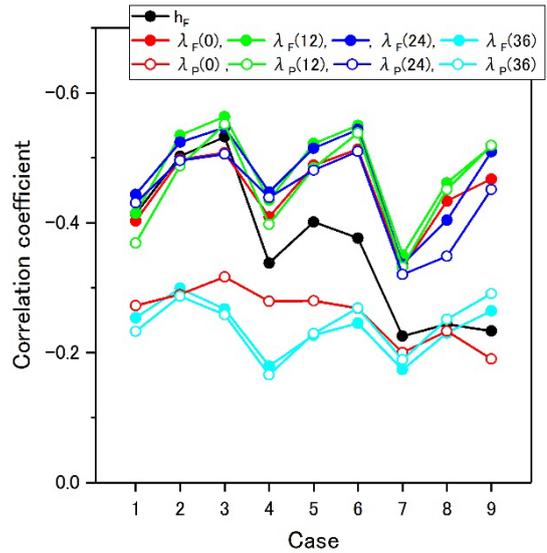


Fig. 5 Correlation coefficient between geometric parameter and velocity

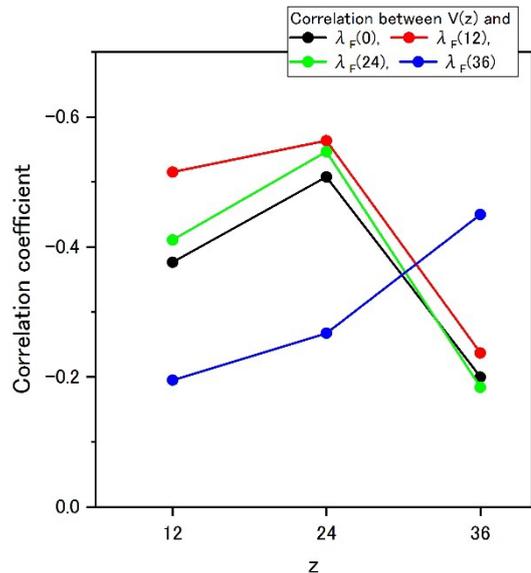


Fig. 6 Dependency of correlation coefficient on height

4. まとめ

- (1) 実街区の建物配置を再現した体系を用いたラージエディシミュレーションを行い、各高さの水平断面内における風速分布と局所的な plan area index, frontal area index $\lambda_P(z)$, $\lambda_F(z)$ との相関係数を評価した。
- (2) 相関係数は、 $\lambda_P(z)$, $\lambda_F(z)$ の評価高さや積分範囲によって大きく異なるが、評価高さと同じ高さの断面上で適切な積分範囲を用いることで比較的高い相関係数が得られる。また、また、 $\lambda_P(z)$, $\lambda_F(z)$ は風速との相関において、概ね同様の傾向を示しているが、平均すると $\lambda_F(z)$ の方が若干良い相関であると思われる。
- (3) 局所的に風速が大きくなる場所の多くは $\lambda_F(z)$ が比較的小さい値となる傾向が示され、 $\lambda_F(z)$ が局所的な増速箇所の推定に関して有意な知見を与える事が示された。

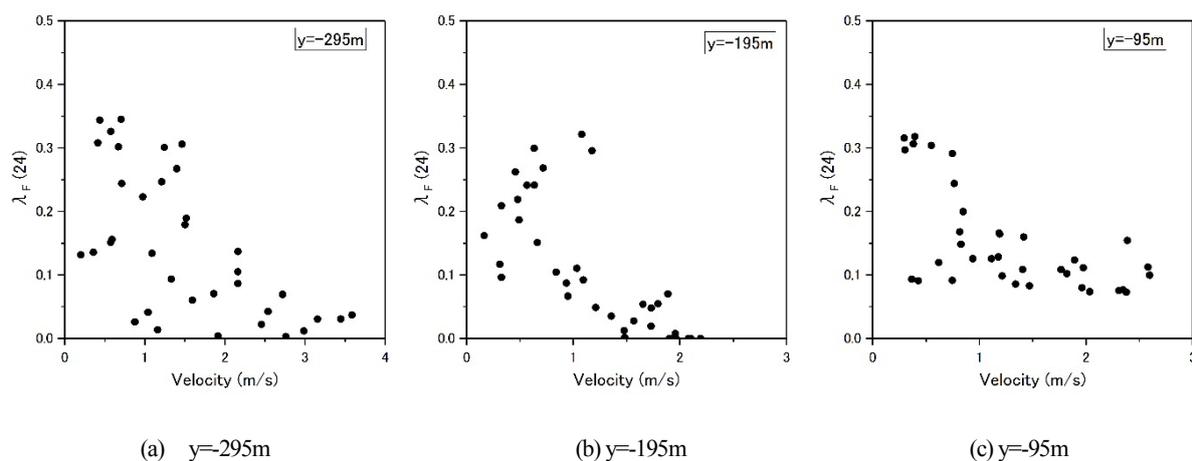


Fig. 7 velocity at 12m height vs $\lambda_F(24)$

謝 辞

本研究の数値計算で用いた Front Flow Red/NuFD の使用方法に関して近畿大学の道岡武信准教授に多大なご助言を頂いたことに謝意を記します。

参考文献

- (1) Kanda, M., Inagaki, A., Miyamoto, T., Gryschka, M., Raasch, S., "A New Aerodynamic Parametrization for Real Urban Surfaces," *Boundary-Layer Meteorol*, vol.148 (2013), pp.357-377.
- (2) Kent, C.W., Grimmond, S., Barlow, J., Gatey, D., Kotthaus, S., Lindberg, F., Halios, C.H., "Evaluation of Urban Local-Scale Aerodynamic Parameters: Implications for the Vertical Profile of Wind Speed," *Boundary-Layer Meteorol*, vol.164 (2017), pp.183-213.
- (3) Millward-Hopkins, J.T., Tomlin, A.S., Ma, L., Ingham, D., Pourkashanian, M., "Estimating Aerodynamic Parameters of Urban-Like Surfaces with Heterogeneous Building Heights," *Boundary-Layer Meteorol*, vol.141 (2011), pp.443-465.
- (4) Ramirez, N., Afshari, A., Norford, L., "Validation of Simplified Urban-Canopy Aerodynamic Parametrizations Using a Numerical Simulation of an Actual Downwown Area," *Boundary-Layer Meteorol*, vol.168 (2018), pp.155-187.
- (5) 村上, 服部, 中尾, "実街区体系の LES による中高層建物地域内の風速・風向分布の評価," 日本流体力学会年会 2018, (2018).