

周辺市街地形状の再現性に基づく高層建築物の耐風設計のための LES

LES for Wind Resistant Design of High-rise Buildings based on the Reproducibility of Surrounding Buildings Shape

- 酒井 佑樹, 清水建設(株), 東京都江東区越中島 3-4-17, E-mail: sakai.y@shimz.co.jp
- 伊藤 靖晃, 清水建設(株), 東京都江東区越中島 3-4-17, E-mail: yasuaki.ito@shimz.co.jp
- 野津 剛, 清水建設(株), 東京都江東区越中島 3-4-17, E-mail: nozu@shimz.co.jp
- 田村 哲郎, 東京工業大学, 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259, E-mail: tamura@depe.titech.ac.jp
- Yuki Sakai, Shimizu Corporation, 3-4-17 Etchujima, Koto-ku, Tokyo
- Yasuaki Ito, Shimizu Corporation, 3-4-17 Etchujima, Koto-ku, Tokyo
- Tsuyoshi Nozu, Shimizu Corporation, 3-4-17 Etchujima, Koto-ku, Tokyo
- Tetsuro Tamura, Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa

CFD has been applied to evaluate wind load acting on a building recently. In order to evaluate the wind load acting on a target building by CFD, not only the shape of a target building but also those of surrounding buildings are required to be modeled. The accuracy of the surrounding buildings shape may also affect the results of wind load evaluation of a target building. This study investigates the effects of reproducibility of surrounding buildings on the wind load evaluation of target buildings. One is the “Precise model” which is generated based on satellite data, and the other is “Simple model” which is based on building footprint. As a consequence, a significant difference of approaching flow has been found between “Simple model” and “Precise model”. As a result, there are possibilities of fluctuating wind pressure coefficient of a target building are underestimation in the calculation by employing “Simple model”.

1. はじめに

建築物荷重指針・同解説 2015⁽¹⁾において数値流体計算を用いた風荷重評価に関する項目が追加されたことに加え、建築物荷重指針を活かす設計資料 2⁽²⁾に風荷重を適切に算定するための CFD の適用方法に関して CFD 適用ガイドが編成されたことから、実建築物の耐風設計に CFD を適用するための検討がますます盛んに行われている⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。建築物に作用する風荷重を CFD で評価するためには建物形状をモデル化する必要があり、多くの検討では風洞実験と同様に、対象建築物の高さや形状は詳細に再現されたモデルを用いる。しかし、周辺市街地については、計算領域内に存在する周辺市街地の全ての建物について形状を再現したモデルを作成することは多大な労力を要するため、平均階高情報等に基づいて算出した階高に階数を掛け合わせた分の高さまで白地図に基づく底面形状を押し出して作成される簡易な形状モデルを用いている。一方で、近年では衛星測量データの活用により比較的少ない労力で建物形状の詳細なモデル化が可能になりつつある。広域の周辺市街地の建物形状のモデル化に衛星測量データを活用することで、周辺市街地の建物形状に依存して形成されるサイト特有の流れ場を再現して対象建築物に作用する風荷重を評価できる可能性があると思定される。

そこで本研究では、数 km の範囲に及ぶ実在市街地を衛星測量データに基づいて作成したモデルを用いた計算と、白地図に基づいて作成した簡易な建物形状のモデルを用いた計算を実施する。そして、実在市街地の建物形状の再現性の影響によりもたらされる、複数の対象高層建築物の風荷重評価の差異について検討する。

2. 計算手法

LES の基礎方程式としては非圧縮流れの連続の式と Navier-Stokes 方程式である。本研究では乱流モデルに標準 Smagorinsky モデルを適用する。本計算では、衛星測量データを活用して作成した周辺市街地モデルを Precise model、白地図に基づいて作成した簡易な建物形状の周辺市街地モデルを Simple

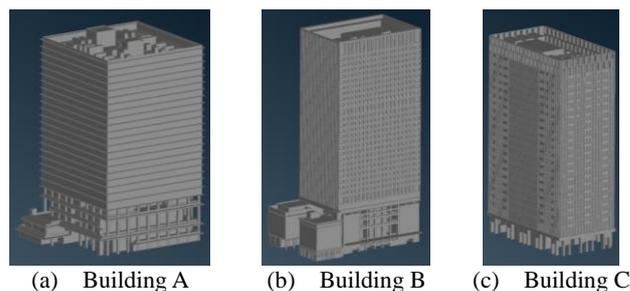
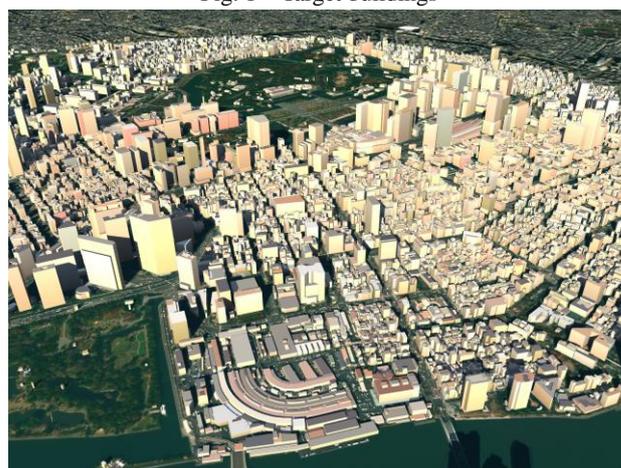


Fig. 1 Target buildings



AW3D Building (c)2017 NTT DATA,Included (c)NTT GEOSPACE,Digital Globe Inc.

Fig. 2 Example of urban model based on satellite data

model として、複数の対象高層建築物の風荷重評価を実施する。計算は Front Flow Red (HPC 版) により実施する。モデル係数 C_s は 0.12 とする。速度と圧力の計算アルゴリズムとしては SMAC 法を使用、また本計算では、移流項の離散化については 2 次精度中心差分と 1 次精度風上差分のブレンド式を用いる。移流項について 1 次精度風上差分を 5%ブレンドして計算を実施する。

3. 計算対象

3. 1 対象建築物

Fig. 1 に示す 3 棟 (建物 A、建物 B、建物 C) の高層建築物を対象とする。対象建築物の高さは、建物 A は 124m、建物 B は 167m、建物 C は 106m である。対象建築物はそれぞれ複雑な表面形状を有しており、外装材まで精度良くモデル化されている。モデル化された対象建築物の形状は Precise model と Simple model で同一である。

3. 2 周辺市街地

対象建築物の周囲に広がる数 km 規模の実在市街地の建物をモデル化した。周辺市街地の建物形状を比較的少ない労力で再現したモデルの構築のために、衛星画像から取得された情報を基に作成された AW3D ビルディング 3D データを活用した。AW3D ビルディング 3D データは、世界最高解像度である米国 DigitalGlobe 社の WorldView 衛星等に基づく建物高さや建物形状のデータであり、位置精度は水平、垂直ともに 2m RMSE である。したがって、セットバックや塔屋を有するなどの建物の床面形状に対して高さ方向に外周の形状が変化する場合でも、その形状が再現されたモデル化が成されている。また、モデル化された建物高さは実在する建物の高さを精度良く再現している。Fig. 2 に衛星測量データを利用して作成した周辺市街地モデルの例を示す。また、Fig. 3 に衛星測量データを利用して作成した Precise model を示す。Fig. 3 から、建物の高さ方向に外周の形状が変化する場合も形状を再現してモデル化されていることが確認できる。一方で、Fig. 4 に示す Simple model は、白地図に基づき建物の底面形状を押し出して作成されるため簡易的な形状である。また、建物の階高を平均階高情報等に基づき算出した高さとして、建物の階高と階数の積により建物高さを決定しているモデルである。本研究では、Simple model において周辺市街地の建物の階高を平均階高情報に基づいて算出した高さを参考に 3m としてモデル化している。

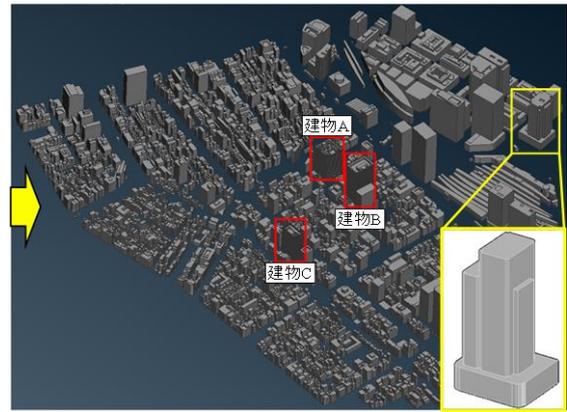


Fig. 3 Precise model



Fig. 4 Simple model

Table. 1 Boundary condition

| | 速度 | 圧力 |
|---------|---|-----------|
| 流入面 | 平成27年度建築基準整備促進事業の流入変動風 (SEM) 地表面粗度区分Ⅲ相当 | Neumann条件 |
| 流出面 | Neumann条件 | Neumann条件 |
| 建物表面・床面 | Spalding則 | Neumann条件 |
| 上面 | Free-Slip | Neumann条件 |
| 側面 | Free-Slip | Neumann条件 |

4. 計算条件

4. 1 計算領域および計算格子

計算領域は実スケールで長さ 3.5km×幅 2.4km×高さ 2.0km である。本研究では、非構造格子系で計算を行う。対象建築物近傍の最小格子解像度は、Precise model および Simple model とともに約 0.1m である。また、地表面および対象建築物表面に沿っては境界層格子を 3 層入れている。総セル数は、Precise model は約 12 億セル、Simple model は約 15 億セルである。

4. 2 境界条件

Precise model および Simple model の境界条件を Table. 1 に示す。流入面には、Jarinn らの合成渦法⁷⁾を基に生成された平成 27 年度建築基準整備促進事業の流入変動風⁸⁾を与える。対象建築物の高さでの平均風速は 10m/s、風速の鉛直分布は地表面粗度区分Ⅲ相当としている。計算は、風洞実験模型スケール(縮尺 1/400)で行う。対象建築物 3 棟の平均高さ 130m 程度における設計風速は約 45m/s を想定しており、実スケールでの風荷重の評価時間 10 分は、風洞実験模型スケール(1/400)で 6.75 秒に相当する。

5. 計算結果

Precise model と Simple model の計算結果を比較する。計算結果はそれぞれ実時間 10 分相当 1 波分の結果である。

Fig. 5 に Precise model および Simple model を用いて計算した建物 B の風圧係数の相関図を示す。この結果から、風圧係数の平均値は高層で概ね対応しているが、中低層では Simple model を用いた計算が若干過大評価となっている。また、変動、最大・最小ピーク値の絶対値は Precise model と比較して Simple model を用いた場合の方が過小評価となる傾向が確認できる。Fig. 6(a)に建物 B

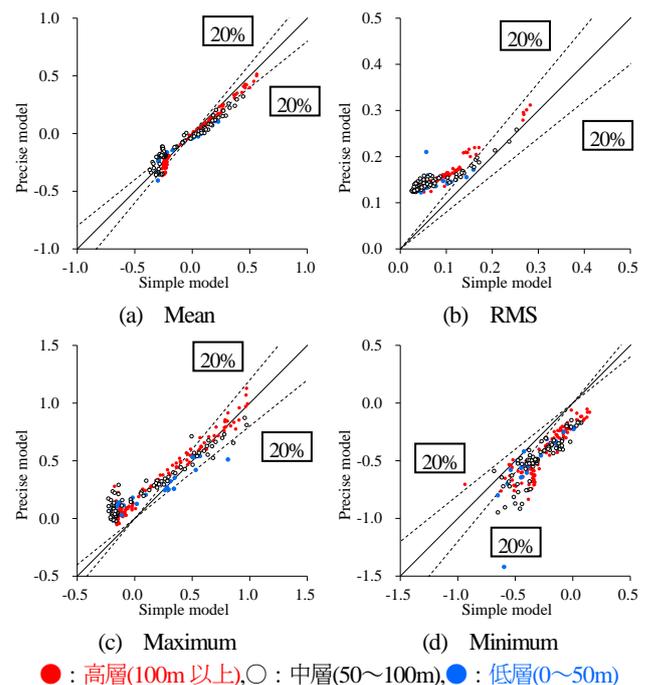


Fig. 5 Correlation diagram (Building B)

の壁面の方位の定義を示し、Fig. 6(b)(c)には建物 B の S 面の変動風圧係数のコンター図を示す。S 面の風上側端部ではPrecise model および Simple model で同様の大きな変動が生じており、Fig. 5(b) の変動風圧係数が 0.3 付近で両者が良く一致している測定点に対応する。一方で、Precise model を用いた計算の低層から高層にわたって S 面の風下側では変動風圧係数が大きく現れており、この差異は Fig. 5(b) の変動風圧係数が 0.1~0.2 付近に対応する。これは Fig. 7 に示す流れ場の様子と Fig.8 に示す建物 B の近傍の風上側で主流方向 u 成分の平均風速および乱れ強さの鉛直分布から、Precise model では建物 B の風上側に存在する建物の高さを精度良く再現しているため、その建物の影響を受けることで乱れて平均風速が落ちた接近流が建物 B に作用するために Simple model と比較して Precise model で変動風圧係数が大きく現れていると想定される。

6. まとめ

本研究では数 km の範囲に及ぶ実在市街地を衛星測量データに基づいて作成したモデル(Precise model)を用いた計算と、白地図に基づいて作成した簡易な建物形状のモデル(Simple model)を用いた計算を実施し、実在市街地の建物形状の再現性の影響によりもたらされる、複数の対象高層建築物の風荷重評価の差異について検討した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) Precise model と Simple model を用いた計算の建物 B の壁面の風圧係数の相関図を確認すると、平均値は高層で概ね対応しているが、中低層では Simple model を用いた場合の方が若干過大評価となった。変動、最大・最小ピーク値は Simple model を用いた場合の方が過小評価となる傾向が確認された。
- (2) 建物 B の壁面の変動風圧係数は、低層から高層にわたって Precise model と Simple model を用いた計算で差異が生じた。これは、建物 B の風上側にある比較的高層の建築物の高さの再現性の差異が、地表面から建物 B の高さ程度までの接近流の平均風速と乱れ強さに影響を与えていることが原因であると想定される結果を得た。

今後は、建物 B 以外の対象建築物に作用する風荷重に対して周辺市街地の再現性が及ぼす影響について検討を進める。

謝辞 本研究は、建築 CFD コンソーシアムにおいて、「京」産業利用課題(hp170085, hp180056)により得られた成果の一部を報告するものである。関係者各位に謝意を表す。

参考文献

- (1) 建築物荷重指針・同解説 2015, 日本建築学会, (2015)
- (2) 建築物荷重指針を活かす設計資料 2 —建築物の風応答・風荷重評価/CFD 適用ガイド—, (2017)
- (3) 田村, 菊池, 近藤, 片岡, 吉江, 河合, "建築物の耐風設計への数値流体計算の導入に関する研究 その 1 数値流体計算の実用化に向けた方針," 2016 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, (2016), pp. 233-234.
- (4) 寺崎, 伊藤, 小野, 酒井, 河合, 田村, "建築物の耐風設計への数値流体計算の導入に関する研究 その 5 大規模 LES に基づくデータベースの整備," 2017 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, (2017), pp. 177-178.
- (5) 近藤, 河合, 挟間, 丸山, 酒井, 野津, 田村, "建築物の耐風設計への数値流体計算の導入に関する研究 その 8 実建物を対象とした CFD モデルの一般化," 2017 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, (2017), pp. 183-184.
- (6) 田村, 片岡, 菊池, 近藤, 吉江, 小野, 寺崎, 河合, "建築物

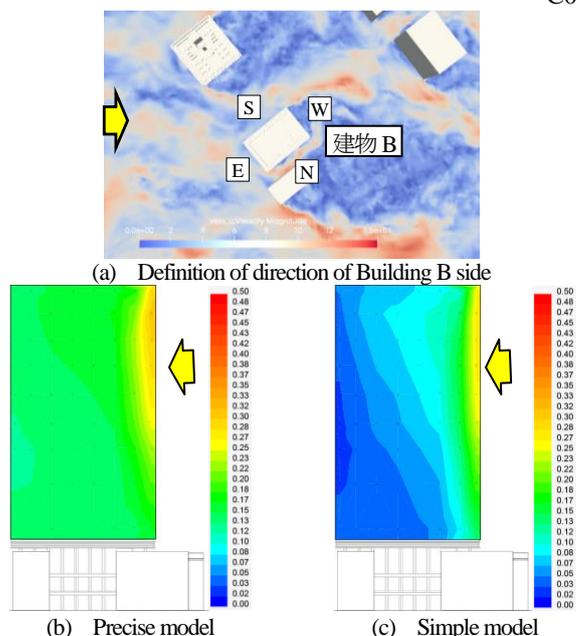


Fig. 6 Distribution of fluctuating wind pressure coefficient on South side (Building B)

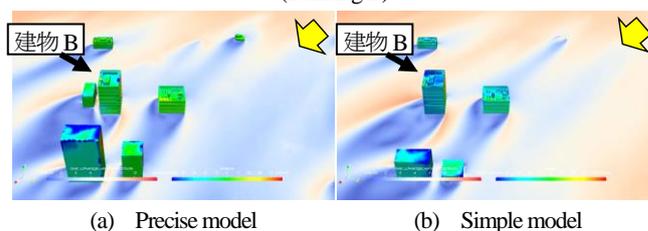


Fig. 7 Effect of surrounding buildings at windward

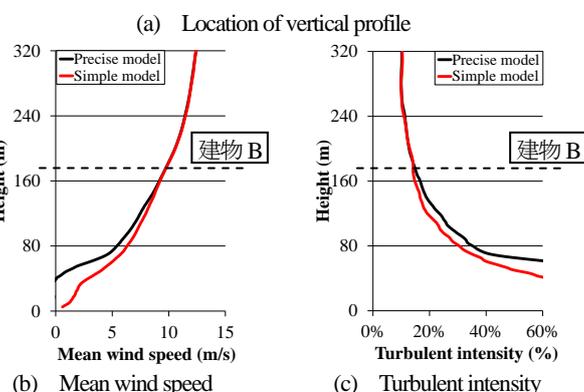
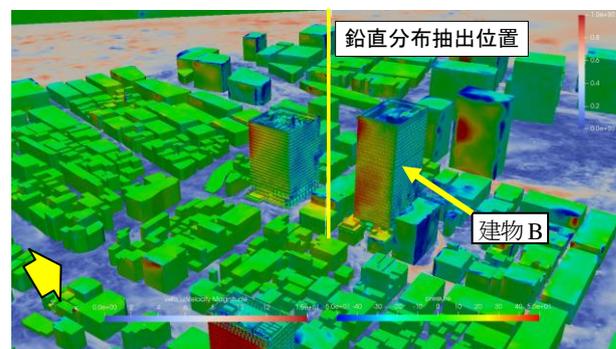


Fig. 8 Vertical profile of u component in front of Building B

の耐風設計への数値流体計算の導入に関する研究 その 9 実用化のための計算条件と適用方法" 2017 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, (2017), pp. 185-186.

- (7) Jarrin, N., Prosser, R., Uribe, J.-C., Benhamadouche, S., Laurence,

- D., "Reconstruction of turbulent fluctuations for hybrid RANS/LES simulations using a synthetic-eddy method," *int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 30, (2009), pp.435-442.
- (8) 田村, 近藤, 片岡, 河合, 数値流体計算による実建築物の風荷重評価, 第 24 回風工学シンポジウム論文集, (2016), pp. 253-258.