

ビル風シミュレーションに関する研究

-その2 数値流体解析の誤差特性と補正方法について-

(株)WindStyle ○松山哲雄

(株)WindStyle 吉田幸彦 日大生産工 丸田榮蔵

1. はじめに

ビル風のシミュレーション方法としては、主に風洞実験と数値流体解析が挙げられる。風洞実験は過去数十年にわたって数多くの実績例があるように、風環境のシミュレーション方法としての信頼性は高い。一方、数値流体解析は近年のコンピュータ処理能力の劇的な向上に伴って急速に利用頻度が上がってきた。また、短期間・低コストであっても、“ある程度の質”の結果を出せる柔軟性の高さからも今後はさらに広範囲に利用されていくものと思われる。ただし、風洞実験と比べると信頼性の面では劣る面が有り、例えば総合設計制度を利用する際の風環境評価では使用できないケースもある。

数値流体解析といっても様々な手法が存在するが、ここでは実務において最も多く利用されていると思われるRANSに基づく手法の一つであるLaunder-Katoモデルによるビル風シミュレーションを実施し、風洞実験との比較検証を行う。そして、得られた誤差特性について分析し、その誤差の補正を試みる。

2. 市街地のビル風シミュレーション

今回、比較検証の対象となる市街地は中低層建物が密集する粗度区分Ⅲ程度の地域である。Photo.1 および fig.1 に実験模型を示す。



Photo.1 風洞実験模型

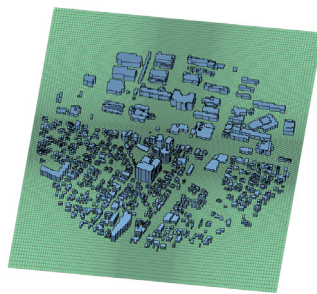


fig.1 数値実験模型

2.1 風洞実験

風洞実験は日本大学生産工学研究所所有のエッフェル型境界層風洞を使用した。幾何学的スケールは 1/300、風速は風洞床面から 1m 高さ（実スケールで 300m）で約 10m/s とし、計測時間および間隔は 60sec、10Hz とした。半径 300m 範囲の建物を再現した。実験気流特性を fig.1 に示す。

サーミスタ風速計を使用し、歩行者レベル（実スケールで 1.5～2.0m 高さ）の風速を測定した。サーミスタ風速計は無指向性であり応答周波数も低いため、計測値は平均スカラー風速である。実測などでよく用いられる 3 杯型風速計やプロペラ型風速計と同等の平均スカラー風速が得られる。

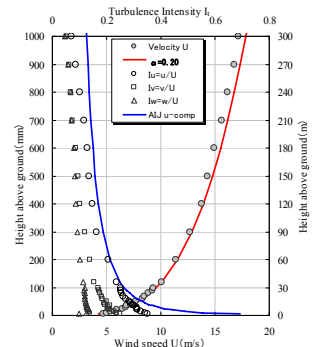


Fig.2 実験気流分布

2.2 数値流体解析

数値実験はSTREAM for Windows Ver.5.0 を使用した。解析方法の概要をtable. 1に示す。

なお、RANSの定常解析から直接得られる風速値は平均ベクトル風速である。

Table1.計算方法概要

アルゴリズム	有限体積法 SIMPLEC法
乱流モデル	LKモデル
空間差分	風速(u, v, w)の移流項: 3次精度(QUICK) その他: 1次精度(風上差分)
計算領域	$X \times Y \times Z = 640\text{m} \times 800\text{m} \times 300\text{m}$
計算格子数	$N_x \times N_y \times N_z = 228 \times 234 \times 70$
最小格子幅	$dx = 1.5\text{m}$ $dy = 1.5\text{m}$ $dz = 1.0\text{m}$
流入境界	風速の鉛直プロファイル: 風洞実験に従う 乱流エネルギー: 風洞実験の乱れ強さより変換
その他境界	流出境界=流入境界、上空面境界=FreeSlip 地表面境界および壁面境界=Log-Law

A study of Wind Environment Simulation

-Part2 About an error characteristic and a revision method of CFD analysis-

MATSUYAMA Tetsuo, YOSHIDA Yukihiro, MARUTA Eizo

3. 誤差特性

ここでは風洞実験と数値流体解析からそれぞれ得られた各評価点の風速比 R と R' について比較検証する。基準は 10m 高さの流入風速 U_f と U'_f とした。評価点位置を fig.3 に示す。

風洞実験と数値流体解析との間で生じる誤差の要因はいくつか考えられるが、スカラーとベクトルの違いを除いても、乱流モデルの性質やメッシュ解像度不足、境界条件の妥当性が大きく影響する。また、既知の問題として $k-\varepsilon$ モデルでは建物の後流域での風速が風洞実験と比較すると低くなりやすい傾向²⁾³⁾があるが、今回の比較検証においてもそのことが確認できた。Fig.4 に比較結果を示す。

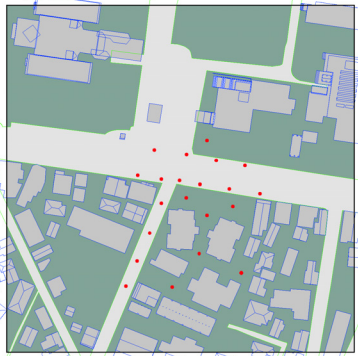


Fig.3 評価点位置図

4. 補正方法

まず、数値流体解析の風速値 U' (平均ベクトル風速) を風洞実験と同等の平均スカラー風速 U 相当に変換する。乱流エネルギー k (①式) から、各座標の変動風速の平均ベクトル量 u' 、 v' 、 w' (②式) を擬似的に求める。求めた変動風速の平均ベクトル量と風速値 U' との合力を求めると変動成分も含んだ平均スカラー風速 U 相当の擬似平均スカラー風速 U'' (③および④式) を求めることができる。ここではこの変換を k 補正と呼ぶ。

$$k = \frac{\langle u'^2 \rangle + \langle v'^2 \rangle + \langle w'^2 \rangle}{2} \dots \dots \textcircled{1}$$

ここで $u' = v' = w'$ と仮定すると

$$u' = v' = w' = \sqrt{\frac{2k}{3}} \text{ と求められる。} \dots \dots \textcircled{2}$$

$$U'' = \sqrt{U'^2 + v'^2 + w'^2} \quad U' \geq u' \dots \dots \textcircled{3}$$

$$U'' = \sqrt{u'^2 + v'^2 + w'^2} \quad U' < u' \dots \dots \textcircled{4}$$

次に k 補正によっても補正しきれない特に風速比 R' が 0.6 以下の箇所については⑤式のような補正を一律に掛ける。ここではこの補正を R 補正と呼ぶ。

$$U'' = U'_R \{ R' + 0.1 - [(0.1/0.6) \times R'] \} \dots \dots \textcircled{5}$$

k 補正を掛けた上でさらに R 補正を掛けると補正無しの場合と比べて、風洞実験と数値流体解析の誤差は非常に少なくなることが確認できた。ここではこの補正を $k+R$ 補正と呼ぶ。

補正の効果を fig.5~7 に示す。

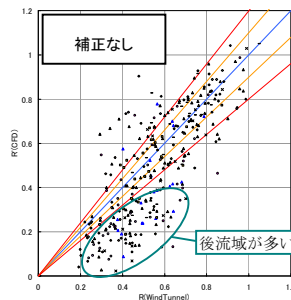


Fig.4 R'/R (補正なし)

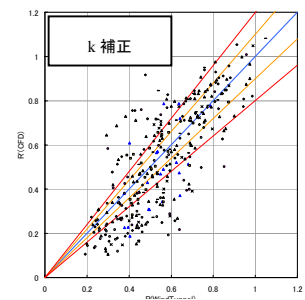


Fig.5 R'/R (k 補正)

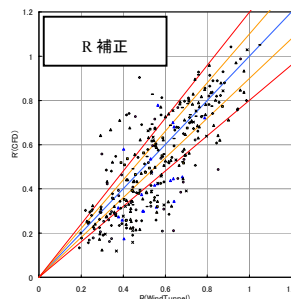


Fig.6 R'/R (R 補正)

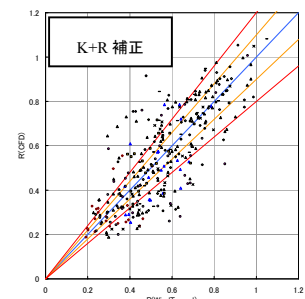


Fig.7 R'/R ($k+R$ 補正)

5. まとめ

k 補正は数値流体解析での風速の評価として乱流エネルギーを風速成分に変換することで平均ベクトル風速 U' を擬似的にスカラー化する効果があり、乱れの大きい建物の後流域の誤差をある程度補正できる。ただし、他の領域も含めて補正しきれない量に関しては経験的に R 補正も掛けると効果的である。

ただし、 R 補正はメッシュ解像度や境界条件の設定により最適値が変化するため、実務での運用の際はメッシュ解像度や境界条件を固定して使用することが望ましい。

今後、さらに精度の高い補正方法を提案できるように、より多くの実験ケースを多角的に検証していく予定である。

参考文献

- 1) 風工学研究所：ビル風の基礎知識
- 2) 日本風工学会：風環境（ビル風）評価の現状と課題
- 3) 松山、丸田：CFD 解析と風洞実験による高層建物周辺気流および壁面作用風圧力評価の比較、日本大学生産工学部第 34 回学術講演会、2001、pp.287-290