

都市域内の乱流場の数値予測に関する研究  
Numerical study of turbulent flow fields in an urban area

○ 石原 孟<sup>1)</sup>  
Takeshi ISHIHARA<sup>1)</sup>

銭 国偉<sup>2)</sup>  
Guowei QIAN<sup>2)</sup>

1. はじめに

沖縄県宮古島は 2003 年台風 14 号の強風により、1000 本以上の電柱および 7 基の風車の倒壊・折損など大きな被害を受けた。構造物の耐風安全性向上のためには、各構造物設置地点で発生した強風を正確に推定する必要がある。一方、気象台の観測値は、近傍市街地の建物や植生の影響を大きく受けるため、2005 年石原ら<sup>1)</sup>は 1000 分の 1 の市街地模型を用いた風洞実験により、宮古島地方気象台周辺の地形、建物、植生が観測点での局所風況に与える影響を調べた。しかし、模型の作成及び風洞実験の実施には多額の費用が必要である。

本研究では、地形、建物、植生が都市内の乱流場に与える影響を数値風洞により調べ、その予測精度を風洞実験により検証する。まず、風洞実験で用いられた市街地模型とスパイヤーをモデル化し、流入風を再現する。次に、格子解像度が都市内の乱流場の予測精度に与える影響を調べる。最後に、作成した数値風洞を用いて 16 風向の解析を実施し、風洞実験と比較することにより、解析精度を検証すると共に、2003 年台風 14 号来襲時の気象台の風速を宮古支店における風速に変換し、実際の観測値との比較から強風予測精度を定量的に評価する。

2. 数値風洞の作成

本研究の解析は LES で行い、SGS 応力のモデルには Smagorinsky-Lilly モデルを用いた。建物と植生が気流に与える影響は榎木らが提案した一般化キャノピーモデル<sup>2)</sup>により評価し、流体力 $f_{\bar{u},i}$ として運動量保存式に取り入れた。

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial x_i} = \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_j \bar{u}_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + f_{\bar{u},i} \quad (2)$$

$$f_{\bar{u},i} = -\frac{1}{2} \rho C_f \frac{\gamma_0}{l_0} |\bar{u}| \bar{u}_i \quad (3)$$

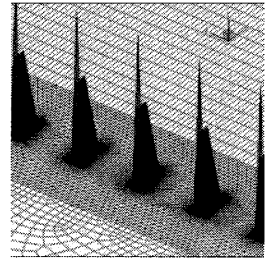
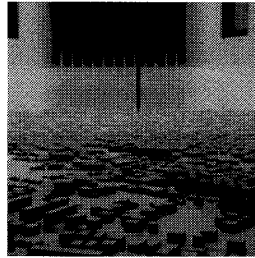


図1 風洞実験の全景 図2 数値風洞スパイヤー

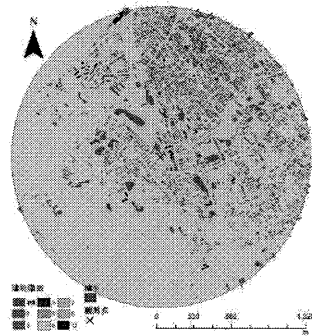


図3 気象台を中心とした建物と植生の電子地図

本解析では、植生について抗力係数 $C_f = 0.4$ 、占有率 $\gamma_0 = 0.001$ 、代表長さ $l_0 = 0.01m$ を設定した。本研究は 2005 年に実施された風洞実験(図 1)と同様、6.0m/s の一様流を流入風として用い、スパイヤー(図 2)によって大気境界層を作成した。

また現地調査および航空写真に基づいて作成された市街地模型と同範囲・同縮尺の地形・建物・植生の電子地図を作成した(図 3)。標高データは国土地理院の数値標高モデル 10m メッシュ(等高線)を使用した。建物はゼンリン(株)による Zmap Town II をベースとし、模型に含まれていない建物は取り除いた。模型同様、建物の階高は 3.5m、階数が不明な建物は一律 2 階建てとし、植生も範囲と高さをそれぞれ模型と一致させた。

数値風洞は水平方向に 17.6m×1.5m、鉛直方向に 1.8m とした。スパイヤーは観測点の上流 7.3m

1) 東京大学大学院工学系研究科 教授  
Professor, The University of Tokyo

2) 東京大学大学院工学系研究科 特任助教  
Project assistant professor, The University of Tokyo

に設置した。観測点上流 0.8m から下流 0.25m の計算格子の水平方向間隔は最大 0.005m(実スケール 5m)とし、そのうち観測点上流 0.15m から下流 0.05m の範囲に実スケール 1m 間隔の格子を内挿するものとし、鉛直方向の最小格子間隔は実スケール 0.45m とし、合計 218 万点の格子を用いた。

### 3. 解析結果

図 4 に示すように、平均風速と乱れ強さともに解析結果と実験値が一致し、大気境界層が再現された。

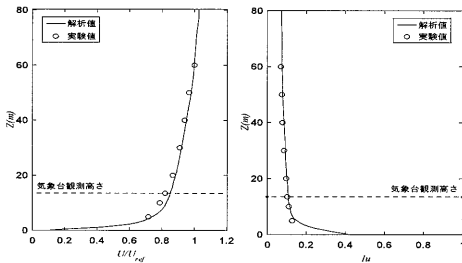


図 4 平坦地形上の風速と乱れ強さの鉛直分布

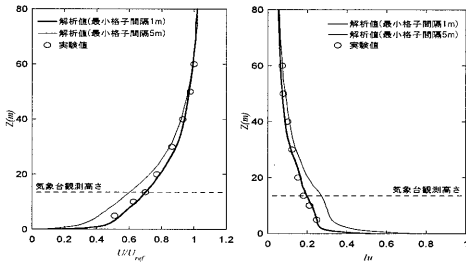


図 5 実地形上気象台位置における風速と乱れ強さの鉛直分布(南方向)

南方向からの流入風について、最小格子間隔が 1m と 5m の解析結果を比較した(図 5)。最小格子間隔が 1m の解析は実験と結果が非常によく一致したが、最小格子間隔が 5m の解析は地表面近くの風速を過小評価し、乱れ強さを過大評価した。最小格子間隔 1m の解析値と実験値を 16 方位の平均風速と乱れ強さについて比較すると、原点を通る回帰直線の傾きは 1.01 と 0.99 であった(図 6)。

最後に、気象台観測高さ 13.5m の風速と実地形上の宮古支店観測高さ 22.0m の風速比を風向別に求めた。風速比は 16 風向に風速が大きかった北と南西の両側各 12.5 度の 4 風向を加え、計 20

風向について算出した。図 7 には 2003 年台風 14 号来襲時に宮古支店における観測値と推定値との比較を示し、宮古支店における推定値は観測値とよく一致した。回帰曲線の傾きは 1.016、また最大風速の予測誤差は 4.9%となった。

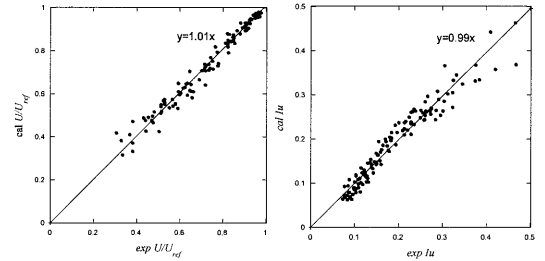


図 6 風速と乱れ強さの解析値と実験値の比較

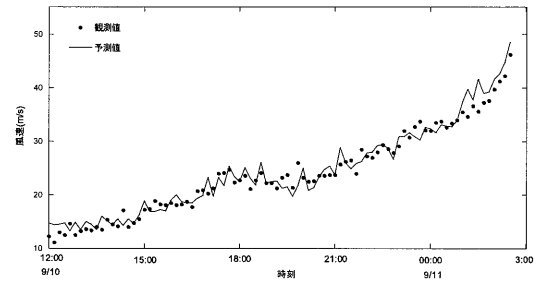


図 7 沖縄電力宮古支店での観測値と推定値の比較

### 4. まとめ

本研究は、スパイヤーと市街地モデルのモデル化により、数値風洞を作成した。観測点周りの格子解像度により都市内の地表面の風況予測精度が大きく異なることを明らかにした。また地形、建物、植生が観測点における風況に与える影響を格子解像度 1m を用いた解析により風洞実験と同精度で評価した。最後に数値風洞に基づき沖縄電力宮古支店での風速を推定した結果、風速の時間変化及び最大風速は観測記録とよく一致した。

### 参考文献

- 1) 石原孟, 山口敦, 高原景滋, 銘苅壮宏, 新城文博: 風洞実験と気流解析に基づく台風0314号の最大風速の推定, 構造工学論文集 Vol.51A, pp.911-920, 2005.
- 2) 榎木康太, 石原孟: 一般化キャノピーモデルの提案と都市域における風況予測への応用, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 68, No.1, pp.28-47, 2012.