

都市内外の強風予測のための数値風洞の作成に関する研究

その1 数値風洞の作成と風洞実験による検証

東京大学 正会員 ○石原 孟
東京大学 学生会員 伊藤遥子

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。これら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当時発生した強風を正確に推定する必要がある。一方、推定の際基礎となる気象台の観測値は、近傍市街地の建物や植生の影響を大きく受けている。石原ら¹⁾は 1000 分の 1 の市街地模型を用いた風洞実験によって、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、宮古島郊外における風速を推定した。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、植生が都市内の風況に与える影響を評価できる数値風洞を作成し、風洞実験によりその精度を検証する。はじめに、風洞実験で用いられた市街地模型とスパイヤーの数値モデルを作成する。次に、観測点周りの格子解像度が都市内の局所風況の予測精度に与える違いを調べる。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、風洞実験との比較から解析精度を検証する。

2. 数値風洞の作成

2.1 解析モデル

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²⁾によって評価し、流体力 $f_{u,i}$ として運動量保存式に取り入れた。

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_j \bar{u}_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right) + f_{u,i} \tag{2}$$

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

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。

2.2 スパイヤーと市街地模型のモデル化

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、また植生も範囲と高さをそれぞれ模型と一致させた。

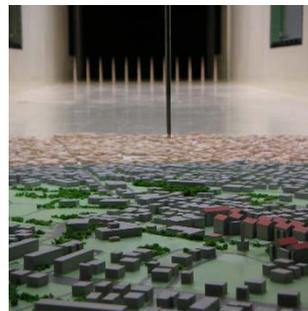


図 1 風洞実験の全景

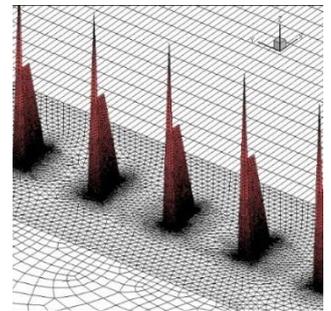


図 2 数値風洞スパイヤー

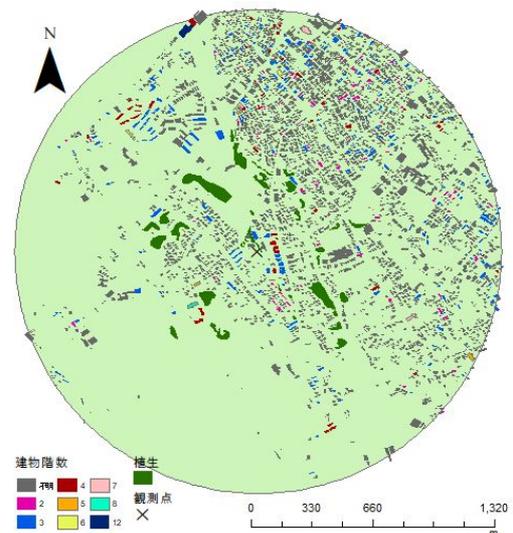


図 3 気象台を中心とした建物と植生の電子地図

2.3 解析条件

数値風洞は水平方向に 17.6m×1.5m, 鉛直方向に 1.8m とし. スパイヤーを観測点の上流 7.3m 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 5mm(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 1mm(実スケール 1m)間隔の格子を内挿するものとし, 異なる二種類を用意した. 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

3.1 平坦地形上の解析

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.

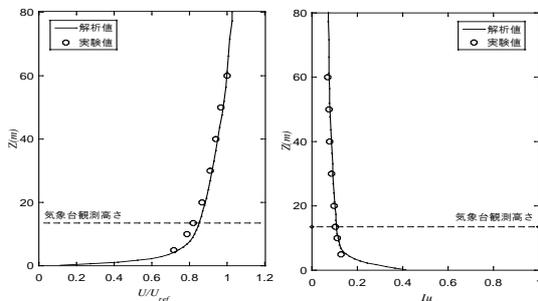


図 4 平坦地形上の無次元風速と乱れ強さの鉛直分布

3.2 実地形上の解析

南方向からの流入風について, 最小格子間隔が実スケール 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).

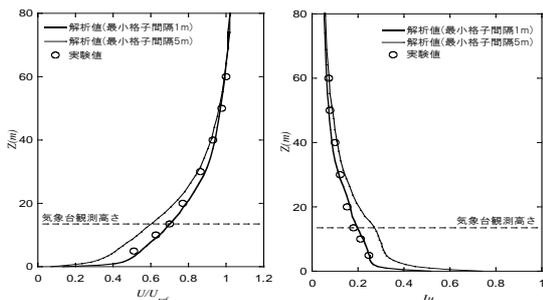


図 5 実地形上気象台位置における無次元風速と乱れ強さの鉛直分布(南方向)

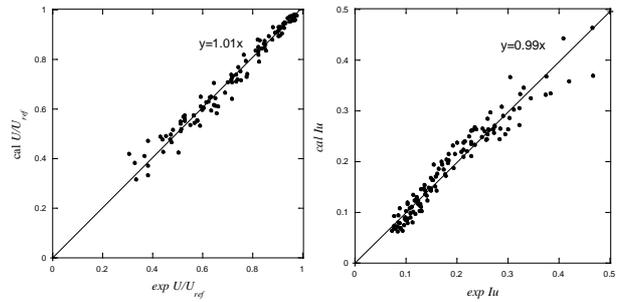


図 6 無次元風速と乱れ強さの解析値と実験値の比較

最後に, 気象台高さでの平坦地形と実地形の風速比の逆数を観測データに乘じ, 平坦地形上の風速を求めた(図 7). なお風速比は 16 風向に当時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. 風洞実験同様, 周辺の建物等の影響を受け, 風速比はどの風向も 1 を下回った. そのため平坦地形上風速は観測風速を上回り, 観測最大風速 38.4m/s は 51.7m/s と約 1.3 倍に変換された.

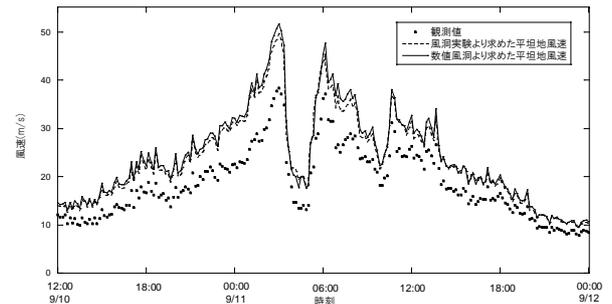


図 7 気象台高さにおける観測値と平坦地形上風速

4. まとめ

本研究は, スパイヤーと市街地模型のモデル化し, 数値風洞を作成した. 観測点周りの格子解像度によって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. そして地形, 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 を用いた解析によって風洞実験と同精度で評価できることを示した.

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.