OpenFOAM による建物周りの風力発電賦存量の推定

- 德島大学大学院 学生員 新居 宏紀 徳島大学 正会員 野田 稔
 - 徳島大学 正会員 長尾 文明 徳島大学 正会員 宗田 和之

1. はじめに

環境問題に対する意識の高まりを背景に環境に及ぼす影響の少ない発電システムの一つとして風力発電システムが注目 されており,都市部において風力エネルギーの回収を目的とした小型風車の導入が近年増加している.風力発電量は風速 の3乗に比例することから,風況の良し悪しは風力発電事業に与える影響が極めて大きい.建物周りの流れは建物の影響 を強く受けており,風車の設置位置を決めるためには事前に十分な検討が必要である.風洞実験は風況を調べるために有 効な手法といえるが,行うにはコストがかかりすぎるため CFD(数値流体力学)による検討が望ましい.本研究ではフリー ソフトウェアとして公開されている OpenFOAM を用いて,建物周りの風況をシミュレーションし,建物周りで風車を設 置する場合に高い発電効率が得られる領域を推定した.

2. OpenFOAM の概要

OpenFOAM は,流体,熱伝導,圧縮流れ,DNS/LES 乱流,燃焼,2相流,構造・流体,電磁・流体等の連続体システムを記述する偏微分方程式を解くために開発されたオブジェクト指向型 C++ライブラリと標準アプリケーションにより開発されており,ソルバを中心に,プリプロセッシング,ポストプロセッシングのユーティリティをパッケージしたソフトウェア群である.ソルバは simpleFoam,可視化に使用するソフトウェアは paraFoam を用いた.

3. シミュレーション概要

本研究では解析領域を幅 1.5m, 奥行き 1.5m, 高さ 1.5m とし, 図-1 に 示すような状況でシミュレーションを行った. α を0°から90°まで 22.5° ピッチで回転させ,計5ケースの解析を行った.また,境界層高さでの流 入風速を6m/sとし,べき指数は0.214として鉛直風速分布をつけた.建 物はマンションをモデルとし,その寸法は,風洞実験との関連から 1/213 の縮尺で幅 B =0.0468m,奥行き L =0.0984m,高さ H =0.1875mとした. なお,建物の底面の中心を原点とした.高い発電効率を得るには,風力エ ネルギー密度が高く,かつ乱流エネルギーが低いこと,さらに風速比が 1より大きい位置に風車を設置することが必要である.風力エネルギー 密度 P,乱流エネルギーk,風速比 R は次式で表される.



図—1 シミュレーション状況

$$P = \frac{1}{2}\rho U(z)^{3} \quad [W/m^{2}] \quad k(z) = \frac{1}{1.2}U(z) \quad [W] \quad J(z) = \sqrt{\left(u(z)^{2} + v(z)^{2} + w(z)^{2}\right)} \quad [m/s]$$
(1)

ここで ρ:空気密度 (ρ = 1.225)[kg/m³], U(z):平均流速 [m/s], u(z),v(z),w(z):x,y,z方向の高さ z/H(m)の流速,

$$R_x(z) = \frac{u(z)}{u_0(z)} \quad R(z) = \frac{U(z)}{u_0(z)}$$
(2)

ここで $R_u(z)$:高さ z/H における $u_0(z)$ に対する風速比, $u_0(z)$:平坦な地形上での高さ z/H における流速 [m/s], R(z):高さ z/H における U(z) における風速比であり, $R_u(z)$ 1 ときに x 方向に増速しているといえ, R(z) 1 のときに増速しているといえ。 いえる、本研究では建物周辺の P の分布図より P が高い領域を推定し、その分布を xy, yz, xz 平面で区切ることにより、 さらに細かく風力発電に最適な領域を推定する、さらに建物周りの風況を検討するために風速比 R を算出する.

4. 実験結果及び考察

ここではシミュレーションにより導き出された P と k の分布, R の検討を行う.今回は,紙面の都合上,風向 45 °の結果のみを示す.解析結果を以下にに示す.はじめに建物周辺の P の分布図を図-2 に示す.この分布図より高度が上がるほど P が高くなることが分かる.これは,境界層乱流中で風速が鉛直分布をもつからである.また,高さが屋上以下のところで,その高さにおいて回りに比べて P が高い領域が出ているのは剥離によって増速していることが考えられる.側面については風車を設置することが難しいと判断し今回は考慮していない.次に xy 平面においての P,k, R の分布の一例を図-3 ~ 図-6 に示す.また,v(z),w(z) の分布を図-4.,図-8 に示す.今回は,紙面の都合上,高さ z/H = 1.03 の場合のみを

示す.図–3 より,建物屋上の上流側の長辺と短辺の付近で P が高いことが分かる.また,図–4 より,建物屋上の上流側 の長辺の後縁の付近以外で k が低いことが分かる.図–5 において,建物屋上の上流側の長辺と短辺の付近で増速し,その 中でも短辺付近の増速が大きいことが分かる.これは建物の影響を受け剥離したためである.図–6 において,建物屋上の 上流側の長辺と短辺の付近で増速していることが分かる,しかし,図–4.と異なるのは,上流側の長辺と短辺の増速率に 違いがあるということである.図–5 は,長辺付近,短辺付近ともに同じような増速をしているが,これは,剥離の影響に より主流直交水平流速 v(z),主流直交鉛直流速 w(z)が変動し,さらに短辺付近よりも長辺付近でその変動が大きいことを 示している.それを裏付ける証拠として,図–4.,図–8 を示す.図–8 において,建物屋上の上流側の短辺付近よりも長辺 付近のほうが値が大きくなっていることが分かる.最後に,これまで示した図–2 図–8 から風車の最適な設置位置を図–9 に示した.風向45°において,風車を設置した場合に,高い発電効率が得られる領域はAの領域であると推定される.



図-2 建物周辺の P の三次元分布



図-5 $R_u(z)$ 分布 z/H = 1.03



図-3 P 分布 z/H = 1.03



図-6 R(z) 分布 z/H = 1.03



図-4 k 分布 z/H = 1.03



図-7 v(z)分布 z/H = 1.03



X-8 w(z) z/H = 1.03



図-9 風車の最適な設置位置

5. おわりに

本研究では OpenFOAM を用いて建物周りの風況を,建物の角度を変化させシミュレーションし,建物周りで風車を設置する場合に高い発電効率が得られる領域を推定した.その結果,風向 22.5 °において,建物屋上の上流側にある長辺の後縁付近,45 °,67.5 °の場合は建物屋上の上流側にある短辺付近に風車を設置した場合,高い発電効率が得られることが分かった.0 °,90 °に関しては P が高い領域と k が高い領域が重なっており,風車の設置には適していないことが分かった.なお,z/H = 1.03において建物屋上で増速したのは風向 22.5 °,45 °であり,その中でも風向 45 °が最も増速することが分かった.また, $R_x(z)$,R(z)より建物による増速効果を確認することができたが,本研究では単体の建物が平坦地に建っている状態で解析しており,周辺の地物が考慮されていない.今後は周辺地物を含めたシミュレーションや風洞実験との比較を行っていくことが今後の課題である.

参考文献

- 1) H.P.A.H. Irwin;Design and Use of Spires for Natural Wind Simulation, Laboratory Technical Report LTR-LA-233, National Research
- Council Canada. 2) 鹿島出版会 新・ビル風の知識 風工学研究所編
- 3) OpenFOAM http://www.openfoam.com/