

ビル風を利用した小型風車の運転性能について

第1報 ビル風の性状解析

岩手大学工学部 小野寺 英輝
 元岩手大学大学院 甲地 悠
 岩手大学大学院 川村 岳晴

1. はじめに

近年、化石燃料の枯渇や環境問題の表面化に伴い、風力エネルギーの活用が注目されている。風力発電には主に、売電を目的とする大型風力発電施設と、独立型電源利用を目的とする小型風力発電設備の2つの利用形態がある。特に小型風力発電設備は、ライフスポット整備の観点から近年、公共施設などでの導入例が増えている。

さて、都市では建築物の配置条件により発生する強風域（ビル風）の問題がありその対策も重要である。一方、風車出力は風速の3乗に比例するから、この風の局所集中効果を利用できれば、風力発電の出力は大幅に増加し、発電適地も拡大することが期待される。とはいえ、一般的にビル風は風向風速変動が激しく風力発電には向かないとされて来っており、実測によりビル風の性状を調べる研究は行われているが¹⁾、微視的性状とその使用方法についての研究はほとんどない。

しかし、風速変動に伴い建物壁面上で高まった高圧力領域が解放され、低圧部へと流れ込めば地点によっては風向風速が安定化することも考えられ、こういったビル風の利用方法研究も今後重要になると考えられる。

本報では、建物周囲の風の性状を調査し数値計算結果と照合することで、ビル風を利用した小型風車の運転可能性について検討する。

2. 建築物周辺気流の観測

2.1 水平方向の気流性状

本研究では、岩手大学構内で最も高層である工学部7号館（7階建）周辺を観測対象とした。周辺は北西方に中層の3号館、西側に幅約14mの道路を挟んで中層の2号館がある他は全体的に開けている場所である。なお、7号館と2号館は連絡路を通して行き交うことができ、この連絡路は双方の建物3階を結んでいる。7号館の構造は北側に高さ4m程度の機器室張り出し部を有するほか、西側は2号館との連絡路のため若干複雑な形状となっている他はほぼ直方体である。

図1に地上風の観測地点を示す。測定高さは駐車中の車両等の影響を考慮し2mとした。測定には小型のプロペラ型風速計を用い、10分間の平均風速および最大瞬間風速を記録した。また、観測区間北端から北へ18m地点の風速を基準風速とし、地上高さ20mの風向を基準風向とする。以下では、最も多くのデータの得られた北西風についての観測結果について考察を行う。

表1(a)にC-line上、表1(b)にR-line上の実測結果を示す。ここでは基準点と測定点における平均風速が1.5m/s

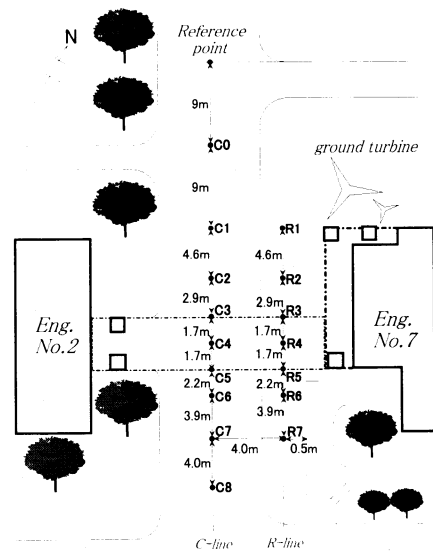


Fig.1 Observation points

Table.1 Measured data

(a) along the C-line

	reference point (m/s)	measuring points (m/s)	acceleration ratio
C0	2.6	2.7	1.1
C1	2.2	2.7	1.2
C2	2.9	2.8	1.0
C4	3.3	2.8	0.9
C5	2.9	3.5	1.2
C6	2.9	3.5	1.2
C7	1.9	2.2	1.1
C8	2.4	3.2	1.3

(b) along the R-line

	reference point (m/s)	measuring points (m/s)	acceleration ratio
R1	3.1	3.7	1.2
R2	2.1	1.8	0.9
R3	2.9	2.3	0.8
R4	3.2	3.2	1.0
R5	2.8	2.8	1.0
R6	2.8	3.1	1.1
R7	1.6	1.9	1.2

以上のものを有効とし、これを3回取得して平均値を取ってそれぞれのデータとしている。なお、測定点C3は条件を満たさなかったため除外してある。

さて、この表から7号館北側壁面に衝突した風が壁面に沿って流れ、建物角部分で剥離し、測定点C1とR1に到達し、元の気流と合流するため、これらの点の風速比が約1.2と基準点に比べて増速していることが分かる。

2.2 鉛直方向の気流性状

次に、この7号館北側壁面に衝突した風の性状を詳しく調査するため、図2に示す7号館北側壁面からそれぞれ1m, 2m, 3m離れた地上高さ1.05m~24.7mの各地点で観測を行った。観測は、三杯型風向風速計を用い、10分間の時系列風速を記録した。基準点は建物の屋上にとり、同じく10分間の時系列風速を記録した。

図3に基準点と測定点⑥で計測された時系列風速を示す。この図より7号館北側壁面に作用する風速は基準点での風速に比べ変動幅が小さいことがわかる。この傾向は他の測定地点でも同様であった。この測定値を周波数解析したものを図4に示す。基準点に比してパワーレベルが一部に集中しており、特に0.05~0.1Hzの周波数域で大きな減少傾向が見られ、基準点に比べ分布範囲が狭くなっていることから前記の傾向が裏付けられた。

この風速変動幅の減少には、壁面近傍での流れの変化が影響を及ぼしていると予測され、前述の様に、7号館前面でせき止められた風が圧力上昇し、7号館前面で高圧部となり、風が弱まったときにこれが低圧部である地上付近や建物角部へと向かい、7号館前面を流れる風が発生し、継続的な風が観測されたと考えることができる。

以上より、建築物周辺に形成される強風域、特に建物角部分近傍では風速が上昇し、乱れも減少し、風速変動が少なくなるという傾向が確認された。

3. 建築物周辺の気流解析

前節では、建築物周辺で形成される強風域では風速変動が小さい領域が存在することを観測したが、壁面近傍の流れの全体的傾向については十分に把握できなかった。そこで、風向を含め建築物周辺に形成される流れ場の構造を知るために、CFDを用いて観測対象区域の詳細な解析を行う。

3.1 数値解法

表2の(1)~(3)に基礎方程式を示す。この式を不等間隔の直角スタッガード格子を用い、SIMPLE法により解いた。離散化は計算格子上にコントロール・ボリュームをとり、有限体積法で行い、運動方程式の対流項と拡散項にHYBRID法を、その他全ての項には2次の中心差分を用いた。乱流モデルにはLaunder・Spaldingの標準k-εモデルを採用した。本報ではまず、流入境界条件に定常流れを用いて、結果の正当性の評価を行い、次いで自然風を模擬するため主流方向速度成分にランダムな変動を与えて解析を行う。境界条件は、上方境界、側方境界、出口境界ではすべての変数にゼロ勾配条件、建築物壁面には速度成分に1/7乗則、乱流エネルギーにゼロ勾配条件、散逸率には壁関数を用いた。

3.2 CFD結果と風速実測値の比較

まず、定常流れの条件で前項の2号館と7号館の間で行った風速測定結果と比較を行う。図5にC-line上、図6にR-line上のCFD結果と実測結果を比較したものを示す。計測結果は平均風速比を点で示し、細直線は計測データのばらつきを表している。これらの図より、数値計算結果は実験値と定性的によく一致しており、ビル風

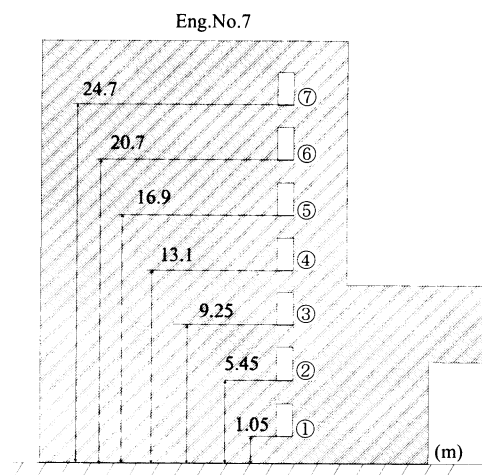


Fig.2 Measuring points along the Eng.No.7

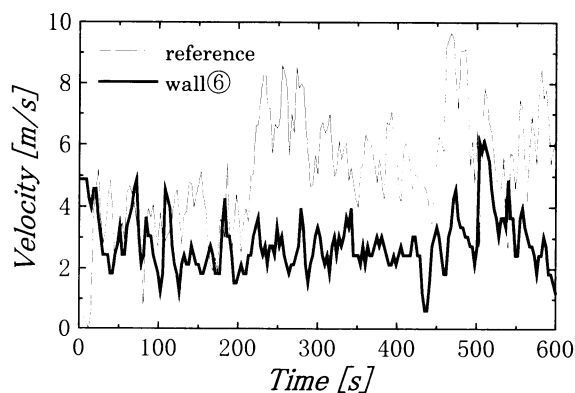


Fig.3 Wind velocity of the two points

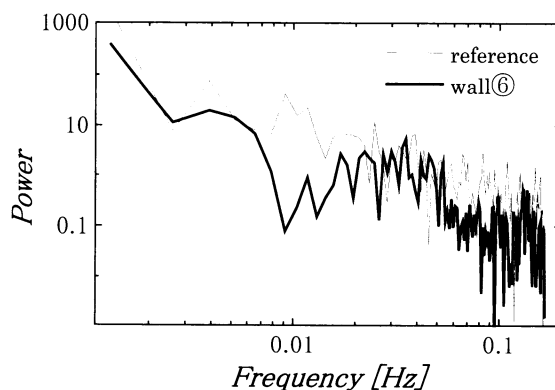


Fig.4 Power spectrum of the two points

Table 2 Basic equations

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = -\frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + \frac{2}{3} k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu + \nu_t \right) \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu + \nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G - C_k \varepsilon \quad (2)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu + \nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} G - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3)$$

の性質を数値的に解析するのに十分な精度を有すると言うことができる。

4 変動風の流入条件

前項で明らかにした風速変動幅の減少傾向については、流入境界条件として定常風を与えているため、このままでは確認できない。そこで、変動する自然風を何らかの形で模擬する必要がある。

この問題の解決のため、非定常流入境界条件を導入し、建物周りの風向風速変動について調べる。以下、発生させた乱数に対してワイブル関数を用いた逆関数法により盛岡における自然風の速域ごとの発生頻度を模擬し、これを主流方向速度成分として用いることで、擬似的に自然風を模擬した流入境界条件を与えた結果を述べる。

4.1 風速変動と渦の発生

流入境界初期条件として変動を与えた結果を図7および8に示す。図7は風速が大きくなって行く時の風速ベクトル図である。流入境界での速度の増大に伴い、壁面に衝突する風の速度も大きくなるため壁面前面部の圧力が上昇する。一方で、図8に示すように、流入境界での速度が小さくなって行く時には、壁面上の高圧部の空気塊は周囲に存在する低圧部との圧力差を解消するために低圧部へ流出するので、結果として建物から離れた位置に大きな渦を形成していることが分かる。

渦の影響が大きい地点は、風速変動の他に風向変動も激しくなるため、風力発電装置を設置するには適さないことになる。建物周りで風力発電を行う際には、この風速と風向の安定性を考慮しなければならない。

4.2 発電に適する地点の推定

このように建物から少し離れた場所には風速変動に伴う渦（逆流領域）が出現する。しかし、風速の実測結果から、建築物周辺に形成される強風域の中には、風向風速変動が大きい場所と共に小さい場所も存在する事がわかっている。そこで、次に風車運転にとって好ましい風向および風速変動の少ない場所の存在に関し、数値解析の結果から検討を行う。

まず、風向の安定性を評価するために、数値解析結果から工学部7号館壁面前面の主風向出現頻度を算出したものを図9に示す。風向は、水平方向の速度成分により16方位に分類した。図中で濃色になる程、風向が安定していることを意味する。

建物の壁面前面のよどみ点と建物角部の間に、明確にある一定風向の出現頻度が高い領域（矢印）が存在している。この場所では風速が大きいときはよどみ点から建物角部へと向かう流れが生じ、風速が小さくなったときは高圧力領域であるよどみ点の圧力が解放され低圧力領域である建物角部へと風が流れ込むので、風向が安定することになるわけである。

また、第2項で風速変動が少ない結果を得た建物角部では風速が大きいときは、よどみ点から分岐した風と吹き降ろしの風が地面付近で分岐した風が合流することで強い風となり、建物角部へ向かう流れが生じている。

しかし、風速が小さくなると、上流側が低圧力領域と

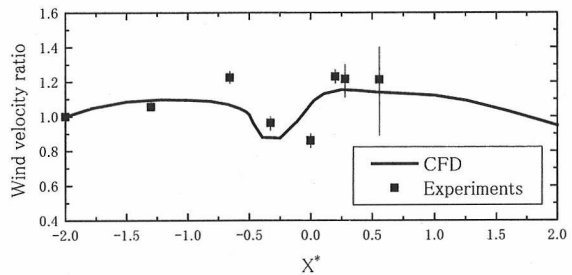


Fig.5 Numerical and experimental results along the C-line

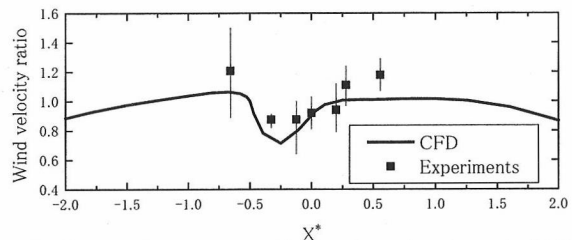


Fig.6 Numerical and experimental results along the R-line

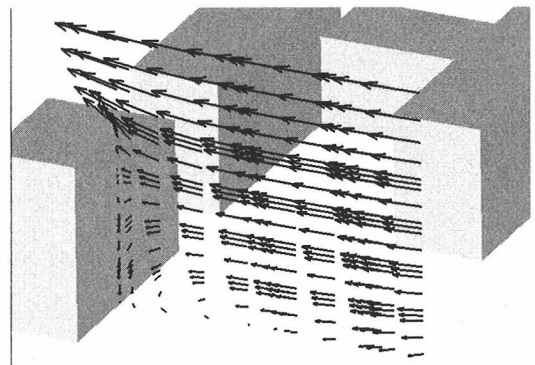


Fig.7 Velocity vectors (high wind velocity)

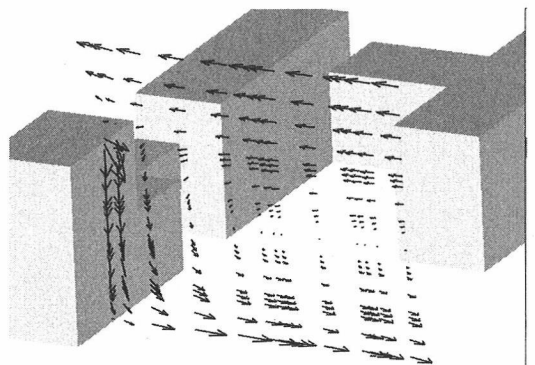


Fig.8 Velocity vectors (changed to low velocity)

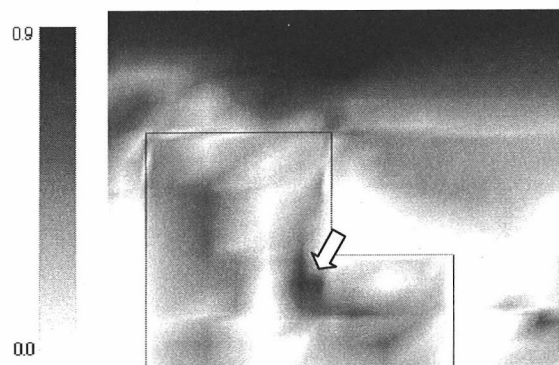


Fig.9 Rate of prevailing wind direction

なり、吹き降ろし風が地面付近で分岐した後、上流側にも向かうため、結果として建物壁面の中央部において逆流領域を形成する(図10太矢印)。そのため、建物角部には強風時ほど吹き降ろし風が流れ込まないため、風速は若干低下するが安定性は増加する。また、風向に関しては、風速が大きいとき7号館と2号館を結ぶ連絡路の下部へと向かう流れが生じるが、風速が小さくなると連絡路下部よりも上流側が低圧であるため風向が変化する。そのため、風向変動が大きくなることが分かった。

次に、風速の安定性について平均風速と標準偏差の比で表される乱れ強さを用いて評価を行う。更にこれと風向の出現頻度との比をとることで、総合的に風向風速が安定化する地点について評価できることになる。図11は、主風向の出現頻度と乱れ強さの比の等分布線図である。濃色側が、風向風速が安定することを意味する。この図より、よどみ点と建物角部の間(矢印)では、風向だけでなく、風速も比較的安定することが分かる。そのため、安定した風車運転が期待できる地点と言える。

5. 小型風車運転試験

以上の結果を踏まえ、実際に小型風車を設置し、運転試験を行った。風車は、学内の都合でCFD結果から得られた最適地点とは位置が異なるが、吹き降ろし風を利用した発電が可能である図1のR1より北へ3.5mの場所に設置した。また、基準位置を建物屋上(地上高16m)に取り、そこにも同形式の小型風車を設置した。図12は北風時に観測した20分間の出力電圧の例であり、roofが屋上に設置した風車、groundが強風域に設置した風車のデータを示す。図よりgroundの風車は地上高がわずか2mであるにもかかわらずroofと殆ど最高値は変わらないことが解る。また、大幅に乱高下するroofの出力に対してgroundの変動が大幅に少なくなっていることが分かる。図13にこの結果のパワースペクトルを示す。地表では0.02Hzおよび0.1Hz付近の値が大きくなり、このほかの領域ではパワーレベルが減衰している。これは全般的に風速の場合とほぼ同様なスペクトルの分布傾向である。

この実機運転結果から、建物からの吹き降ろし風を併せて利用することで安定した発電が可能ながことが分かった。CFD結果から得られる風の重合地点に風車を置くことで、安定した風車出力の増加が期待できる。

6. 終わりに

都市内での風力利用適地調査の基礎的研究として建築物周辺に形成される強風域の特性の計測および数値解析を行ない、以下の結論を得た。

- (1) 建築物の近傍には風の吹き下ろし等により風向風速ともに安定する領域が存在する。
- (2) 安定風向の特性を生かしシュラウド型等の風車^{2),3)}により流れを更に集めて利用すれば、大幅な出力増加が期待される。

参考文献

- 1) 須田ら, 風工学シボゾウム予稿集, (1986),79-84
- 2) O.Igra, J.Energy, 4-4(1980),190-192
- 3) 大屋ら, 第23回風力エネルギー利用シボゾウム講演集,4(2001)

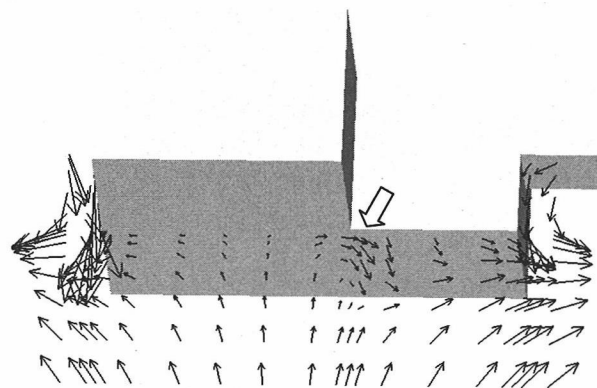


Fig.10 Velocity vectors at low wind velocity
(10m from ground level)

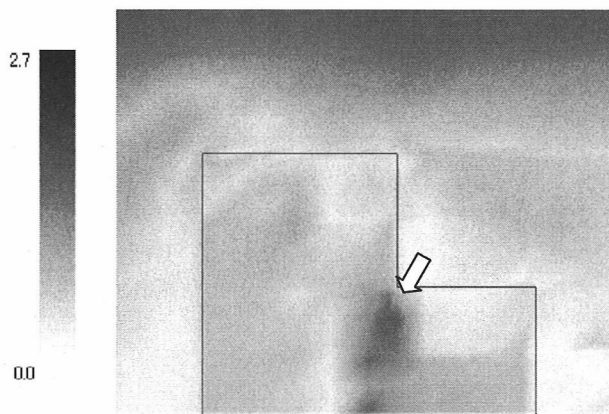


Fig.11 Ratio of turbulence intensity and
rate of prevailing wind direction

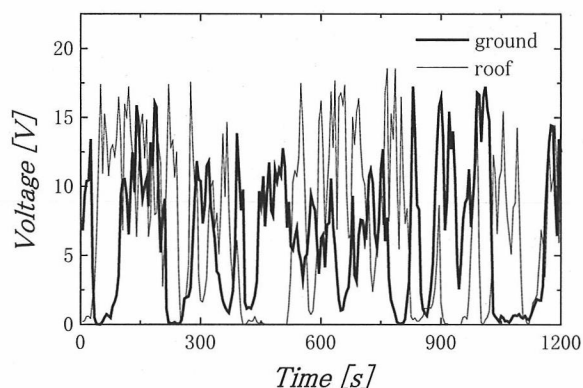


Fig.12 Time variation of the output voltage

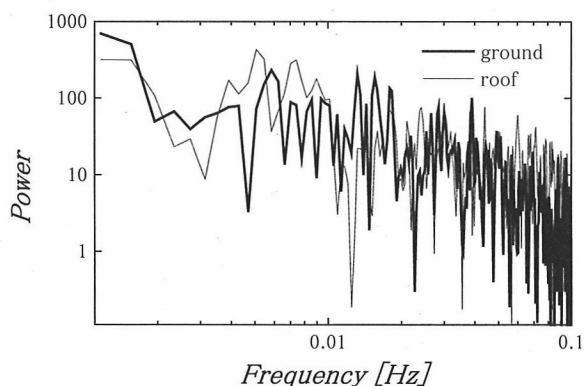


Fig.13 Power spectrum of the turbine outputs