

道路用フェンス上部に水平に設置したクロスフロー風車の性能 (フェンス無孔板領域の影響)

Performance of a Cross-flow Wind Turbine Located above a Roadway Fence (Effect of Nonporous Area of a Fence)

中田 博精^{*1} 木綿 隆弘^{*2} 櫃田 禎大^{*3}
Hiroaki NAKATA^{*1} Takahiro KIWATA^{*2} Yoshihiro HITSUDA^{*3}
古路 裕子^{*4} 河野 孝昭^{*5}
Hiroko FURUMICHI^{*4} Takaaki KONO^{*5}

^{*1} Graduate Student of Natural Sci. and Tech., Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa, 920-1192, Japan

Fax:+81-76-234-4746, E-mail: nakata@ryuko.ms.t.kanazawa-u.ac.jp

^{*2} Professor, Kanazawa Univ.

^{*3} Graduate Student of Natural Sci. and Tech., Kanazawa Univ.

^{*4} Chief Researcher, Nippon Parts Center Co., Ltd., 3-12-3 Minato, Kanazawa, Ishikawa, 920-0211, Japan

^{*5} Assistant Professor, Kanazawa Univ.

Abstract

Performance of a cross-flow wind turbine located above windbreak and snow fences and the associated velocity fields have been investigated experimentally. Effects of the nonporous area of the fence, as well as the direction of the turbine rotation were examined. The standard porous board fence model had the geometric shielding rate of 60%. When the turbine was rotating clockwise, i.e. the blades on the upstream side of the turbine were moving upward, the maximum power coefficient increased with the increasing the nonporous area of the fence. In contrast, when the turbine was rotating counterclockwise and the small clearance between the turbine and the fence, the maximum power coefficient decreased rapidly with the increasing the nonporous area of the upper part of fence. It was found that the power of wind turbine was related to the flow velocity in the clearance region and the rotational direction of the wind turbine.

キーワード：クロスフロー風車，有孔板，道路用フェンス，性能，水平設置

Key Words：Cross-flow Wind Turbine, Porous Plate, Roadway Fence, Performance, Horizontal Installation

1. 緒論

近年、地球温暖化ガス削減のため、自然エネルギーである風力を利用したクリーンな発電システムが注目されており、中でも小形風車による風力発電は、電力網がない場所での独立電源としての利用が期待されている。また、垂直軸風車の一つであるクロスフロー風車¹⁾は、起動性がよく、低周速から発電するが、プロペラ風車に比べて出力が小さいことから、出力増加のために様々な試みがなされている。例えば、重光ら²⁾

や清水ら³⁾は、より多くの流れを風車内へ誘導させるために偏向板やガイドベーンを有する風車の開発を行っている。また、谷野ら⁴⁾は、ビルなどの建造物の角部で流速が増加することを利用し、風車を端壁部に設置することで高い出力を得ようと試みている。著者らは前報⁵⁾において、建造物を利用した風車出力向上の一つとして、道路用防風フェンス上部で風速が大きくなることに着目し、フェンス上部に設置したクロスフロー風車の性能について調べ、風車回転方向と、フェンスと風車のクリアランスが風車出力に及ぼす影響を明らかにした。

道路用の防風・防雪フェンス⁶⁾は、強風によるトラックの横転事故や、雪混じりの視界不良によるドライバー運転ミスを防止する目的で設置される。道路用の防風・防雪フェンスの開発において、フェンスに偏向板を取り付けた場合の下流域への影響⁷⁾や、地吹雪の発生時において雪を如何にフェンスの周りに吹き止め

*1 金沢大学大学院自然科学研究科システム創成科学専攻
大学院生 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:nakata@ryuko.ms.t.kanazawa-u.ac.jp

*2 金沢大学理工研究域教授

*3 金沢大学大学院自然科学研究科機械科学専攻大学院生

*4 ㈱日本パーツセンター

*5 金沢大学理工研究域助教

(原稿受付：2013年 10月 7日)

るか、道路上の雪を吹き払うか等が研究されている^{8),9)}。

本研究では、有孔フェンス上部または下部を無孔板で遮蔽することで、吹き払い式と吹き止め式の防雪フェンスを想定し、無孔板領域の変化がフェンス上部に設置したクロスフロー風車の性能に及ぼす影響を風洞実験により調べた。

2. 実験装置及び方法

2.1 実験装置

実験装置概略を図1に示す。実験には、測定部断面寸法が、1250mm×1250mmの回流式風洞装置を使用し、閉塞効果による影響を低減させるために、両端に高さ1000mm×長さ2000mmの側壁のみを有する上部壁がない測定胴で実験を行った。この風洞装置は風速 $V = 10\text{m/s}$ において、乱れ強さが0.5%以下であり、非一様性が±1.0%以下であった。

本実験で用いた1/5縮尺の有孔板フェンス模型は、高さ $h = 500\text{mm}$ 、幅 406mm の遮蔽率 $\phi = 60\%$ のパネルを3枚使用している。遮蔽率 $\phi = 60\%$ の有孔板フェンスは、孔径 $d = 2\text{mm}$ の円形の穴がピッチ $p = 3\text{mm}$ の間隔で菱形状に開いたパネルを用いた。図2に本実験で用いた供試フェンスを示す。遮蔽率 $\phi = 60\%$ の有孔板フェンスと $\phi = 100\%$ の無孔板フェンス、遮蔽率 $\phi = 60\%$ のフェンスの上部から無孔板で遮蔽した場合及び下部から無孔板で遮蔽した場合の8種類について実験を行った。吹き払い式フェンスを模擬する場合はフェンス上部を無孔板で遮蔽し、吹き止め式フェンスを模擬する場合はフェンス下部を無孔板で遮蔽した。本報においては、フェンス上部から25%の高さを無孔板で

遮蔽した場合を25%upper、下部から25%の高さを無孔板で遮蔽した場合を25%lowerと表記することとする。

供試風車であるクロスフロー風車の概観を図3に示す。風車1台の寸法は、外径 $D_1 = 80\text{mm}$ 、内径 $D_2 = 65\text{mm}$ 、スパン $L = 400\text{mm}$ であり、羽根枚数 $N = 15$ の円弧翼（羽根入口角度 $\beta = 40^\circ$ 、翼弦長 $l_c = 10.35\text{mm}$ 、曲率半径 $r = 5.67\text{mm}$ ）を有しており、ソリディティ $\sigma = (N \cdot l_c) / \{\pi(D_1 + D_2)/2\} = 0.68$ である。

2.2 実験方法

本実験では有孔板フェンス上部に風車3台を連結させて設置し、フェンス上端と風車下端の隙間間隔 $C = 20\text{mm}$ となる風車上部高さ $H = 600\text{mm}$ を基準高さとした。図1に示すように、風が左から右に流れる場合に、風車回転方向が時計回りのものをCW、反時計回りのものをCCWとした。有孔板フェンスと風車外径とのクリアランス $c (= C/D_1)$ は、前報の遮蔽率 $\phi = 60\%$ の有孔板フェンスで行った実験⁵⁾において、風車回転方向CWとCCWのそれぞれの場合に風車出力係数が大きくなる $c = 0.0625, 0.313$ とした。風車はカップリングを介してトルク計、回転数検出器及び回転制御用DCモータに接続されている。DCモータにより風車回転数 n を制御し、各回転数における風車トルク T を測定し、風車出力 $P (= T\omega)$ を算出した。また風車出力係数 $C_p (= P/0.5\rho AV^3)$ と周速比 $\lambda (= D_1\omega/2V)$ は風洞出口中心部の風速 $V = 7\text{m/s}$ を基準風速として算出した。ここで ω は角速度 ($= 2\pi n/60$)、 ρ は空気密度、 A は受風面積 ($= 3D_1L$) である。なお、機械損失による影響を除去するために、あらかじめブレードを取り外した円板と軸のみの状態で回転させてトルク損失値を測定し、

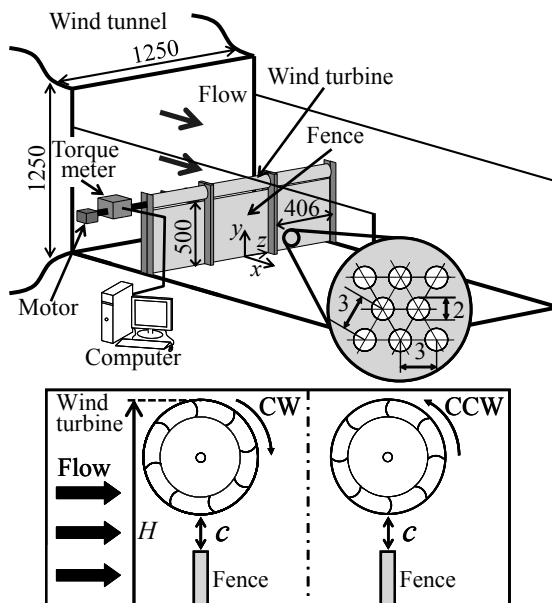


Fig.1 Experimental apparatus

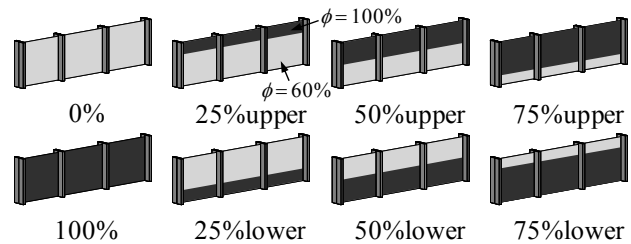


Fig.2 Porous fences

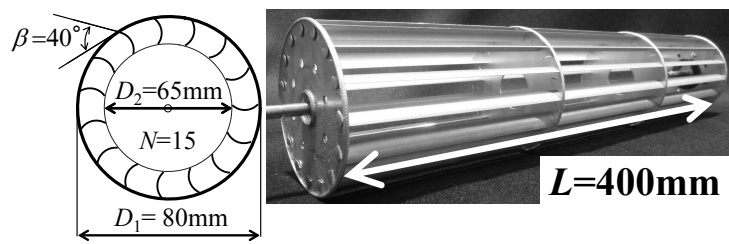


Fig.3 Cross-flow wind turbine

風車出力を補正した。本研究は、フェンス上部で局所的に風速が増速することを利用してクロスフロー風車の出力増加を狙ったものであり、風洞出口での一様風速を基準風速として算出した風車出力係数 C_p は、JIS C 1400-0 で「ロータ受風面積を単位時間に通過する自由空気流の運動エネルギーに対する風力発電装置の正味出力の比。」と定義されている出力係数とは異なるものとなっている。

風車後方の風速分布は、自動トラバース装置に取り付けられた X 形熱線プローブを用いて測定した。風速測定範囲は図 1 のようにフェンス中央の床面と接する部分を原点とし、 x 方向（流れ方向）に $0.08 \leq x/H \leq 0.27$ 、 y 方向（鉛直方向）に $0.56 \leq y/H \leq 1.21$ の範囲を、10mm 間隔で測定した。AD 変換された各データはサンプリング周波数 10kHz、測定点数 4 万点で取得し、時間平均値を計算した。

また風車周りの流れの可視化実験は、風速 $V = 2\text{m/s}$ として、多線スモークワイヤ法を用いて行った。この可視化実験では、吹き払い式と吹き止め式のフェンス上部に風車を設置した場合のフェンス近傍の吹き上がりや増速、逆流などの流れの様相を明らかにすることを目的としている。なお、可視化実験時の風速が出力測定実験及び風速分布測定実験における風速とは異なるものの、風速 $V = 2\text{m/s}$ においてもレイノルズ数 $Re \approx 7.9 \times 10^4$ であることから、流れの様相の定性的な比較が可能であると考えられる。

3. 実験結果及び考察

3.1 フェンス上部を遮蔽した場合

吹き払い式防雪フェンスを模擬して、フェンス上部に無孔板領域を設けた場合における、無孔板領域の変化が風車出力 P 及び風車出力係数 C_p に及ぼす影響について述べる。

図 4 にクリアランスが小さい $c = 0.0625$ で風車回転方向が CW と CCW の 2 つの場合における、有孔板フェンスの無孔板領域を 0%、25%upper、50%upper、75%upper、100% と変化させた場合の風車出力特性を示す。なお、図中には風車単体の結果も示す。図 4(a) に示すように風車回転方向 CW の場合、有孔板フェンス上部の無孔板領域が大きくなるにつれて、風車出力が上昇する。風車単体に比べて最大風車出力は、無孔板領域が 100% の場合は 4.1 倍となり、吹き払い式防雪フェンスを模擬したもので最も風車出力 P が大きくなる無孔板領域が 75%upper の場合は 3.8 倍であった。また最大出力係数 C_{pmax} とその時の周速比 $\lambda_{C_{pmax}}$ は、風車単体の場合は $C_{pmax} \approx 0.11$ と $\lambda_{C_{pmax}} \approx 0.35$ であるが、各

有孔板フェンスの上端に風車を設置することで最大出力係数が $C_{pmax} = 0.26$ から 0.46 と向上するのに対応して、その時の周速比も $\lambda_{C_{pmax}} = 0.40$ から 0.55 とわずかに増加することがわかる。一方、図 4(b) に示すように風車回転方向 CCW の場合、有孔板フェンスのみの無孔板領域 0% の場合はフェンス上端に風車を設置することによって最大風車出力は風車単体の 2.1 倍で最大出力係数 $C_{pmax} \approx 0.24$ となり、風車出力が風車単体の場合よりも上昇する。しかし、有孔板フェンスの上部を遮蔽したフェンスの場合、無孔板領域 0% に比べて風車出力が低下し、無孔板領域を変化させても大きな違いが見られず、最大風車出力は風車単体の 1.1 倍で最大出力係数は $C_{pmax} \approx 0.12$ となる。また最大出力係数時の周速比 $\lambda_{C_{pmax}}$ も、無孔板領域の大きさによらずほぼ同じ値の $\lambda_{C_{pmax}} \approx 0.45$ となる。

図 5 にクリアランス $c = 0.0625$ 及び $c = 0.313$ の場合での有孔板フェンス上部の無孔板領域の変化に伴う最大出力係数 C_{pmax} の変化を風車単体のときの最大出力係数 C_{pmax} に対する比として示す。風車回転方向 CW の場合、クリアランス c の大小に関わらず、無孔板領域が大きくなるにしたがって最大出力係数 C_{pmax} が上昇している。クリアランス $c = 0.0625$ 、風車回転方向 CW で無孔板領域が 50%upper では、最大出力係数が風車単体の場合に比べ 3.3 倍になり、無孔板領域が 100% になると 4.1 倍に増加する。一方、風車回転方向 CCW の場合、クリアランスが大きい $c = 0.313$ の場合においては風車回転方向 CW と同様に有孔板フェンス上部の無孔板領域が大きくなるにしたがって最大出力係数 C_{pmax} が上昇し、無孔板領域が 50%upper では風車単体の場合に比べ 2.9 倍になり、無孔板領域が 100% では 3.3 倍になる。しかし、風車回転方向 CW に比べると、無孔板領域が大きい場合の最大出力係数 C_{pmax} は小さい。クリアランスが小さい $c = 0.0625$ においては、無孔板領域 25% 以上で最大出力係数 C_{pmax} が無孔板領域 0% の場合よりも大きく低下し、無孔板領域 100% の場合とほぼ同じ値になり、風車単体の場合に比べ 1.1 倍となる。有孔板フェンス上部に無孔板領域がある場合、吹き上がる流れ及び風車とフェンスの隙間を通る流れと風車回転方向が風車出力の増減に関係していることは、3.3 で議論する。

3.2 フェンス下部を遮蔽した場合

吹き止め式防雪フェンスを模擬して、フェンス下部の無孔板領域を変化させた場合の風車出力 P 及び風車出力係数 C_p の実験結果を図 6 に示す。なお、クリアランスは図 4 と同様に小さい値である $c = 0.0625$ の場合を示す。

図 6(a)の風車回転方向 CW の場合、有孔板フェンス下方の無孔板領域が大きくなるにつれて、風車出力が上昇し、吹き止め式防雪フェンスを模擬したもので最も風車出力 P が大きくなるものは無孔板領域が 75%lower の場合で最大風車出力は風車単体の 3.8 倍であり、吹き払い式フェンスを模擬したもので最も風車出力が大きかった無孔板領域が 75%upper と大きく異なることがわかる。最大出力係数 C_{pmax} とその時の周速比 $\lambda_{C_{pmax}}$ は、図 5(a)の吹き払い式防雪フェンスを模擬した時と同様に、最大出力係数が $C_{pmax} = 0.27$ から 0.46 と向上するのに対応して、その時の周速比も $\lambda_{C_{pmax}} = 0.40$ から 0.55 とわずかに増加する。図 6(b)の風車回転方向 CCW の場合、無孔板領域があることによって無孔板領域 0%の場合に比べて、出力係数 C_p が 0.05 程度上昇する。最大出力係数 C_{pmax} とその時の周速比 $\lambda_{C_{pmax}}$ は無孔板領域が大きくなるにつれて変化はしているが、回転方向 CW の場合と比べるとその変化量は小さい。吹き止め式防雪フェンスを模擬した場合の最大風車出力は無孔板領域に関わらず、風車単体のおおよそ 2.4 倍である。最大出力係数も $C_{pmax} = 0.27 \sim 0.28$ の範囲であり、その時の周速比は $\lambda_{C_{pmax}} = 0.50 \sim 0.55$ である。しかし、無孔板領域が 100%の場合では風車出力は大きく低下し、最大風車出力は風車単体の場合に比べて 1.1 倍となった。風車出力特性も風車単体の場合とほぼ同じ特性となった。

図 7 にクリアランス $c = 0.0625$ 及び $c = 0.313$ の場合で有孔板フェンスの無孔板領域の変化に伴う最大出力係数 C_{pmax} の変化を風車単体のときの最大出力係数 C_{pmax} に対する比として示す。風車回転方向 CW の場合、クリアランス c の大小に関わらず、無孔板領域が大きくなるにしたがって、最大出力係数 C_{pmax} が上昇している。クリアランス $c = 0.0625$ 、風車回転方向 CW で無孔板領域が 50%lower では、最大出力係数が風車単体の場合に比べ 3.2 倍になり、無孔板領域が 100%になると 4.1 倍に増加する。これらの値は、吹き止め式防雪フェンスを模擬した場合の結果とほぼ同じ値になる。風車回転方向 CCW の場合も、無孔板領域が大きくなるにしたがって風車出力は上昇する。しかし、無孔板領域が 100%になるとクリアランスに関わらず、最大出力係数 C_{pmax} は低下する。風車単体に比べて最大出力係数は、クリアランス $c = 0.0625$ の場合は 1.1 倍、クリアランス $c = 0.313$ の場合は 3.2 倍となり、クリアランスの小さい $c = 0.0625$ の場合の方が大きく低下した。フェンス下方に無孔板領域がある場合もフェンス上部に無孔板領域がある場合と同様に、フェンスでせき止められた流れは吹き上がる流れに影響を与える。風車

回転方向 CCW で無孔板領域が 100%の場合、クリアランスに関わらず、風車回転方向と吹き上がり流れの方向が逆であるために風車出力が低下すると考えられる。

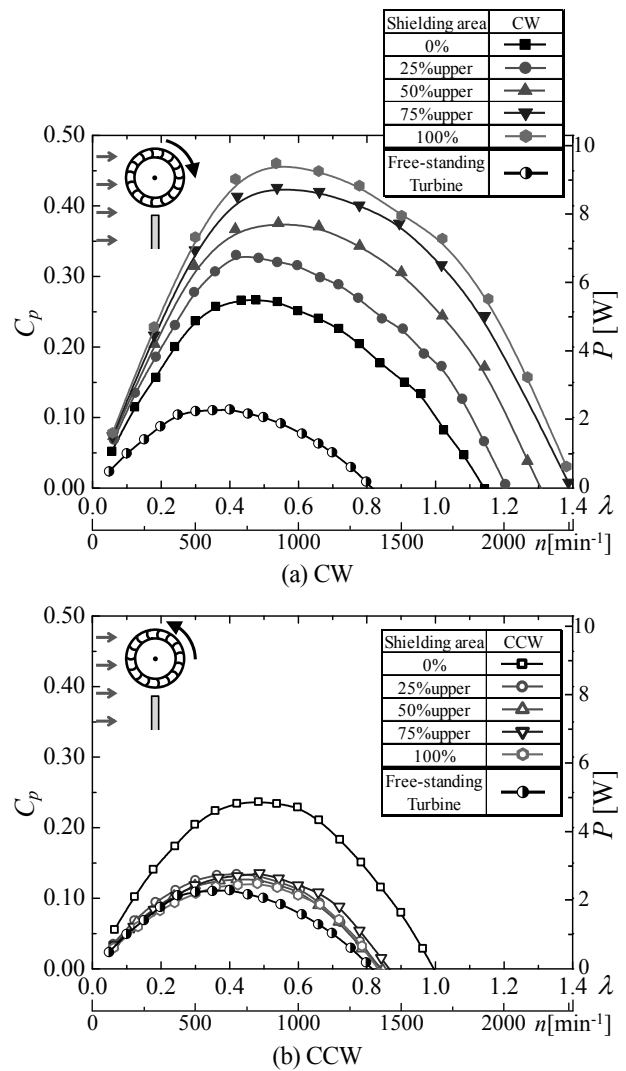


Fig.4 Power coefficient vs. Tip speed ratio ($c = 0.0625$)

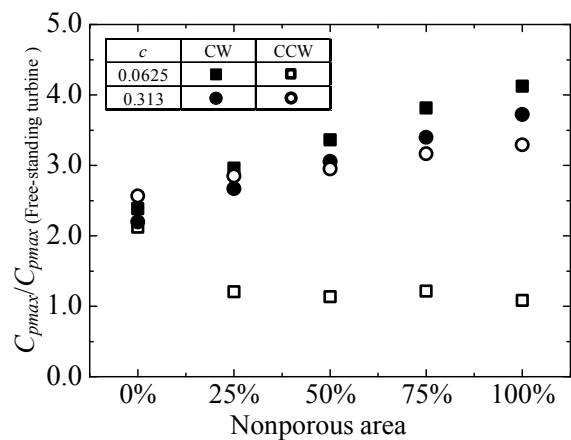


Fig.5 Maximum power coefficient vs. Nonporous area (Upper part of the fence)

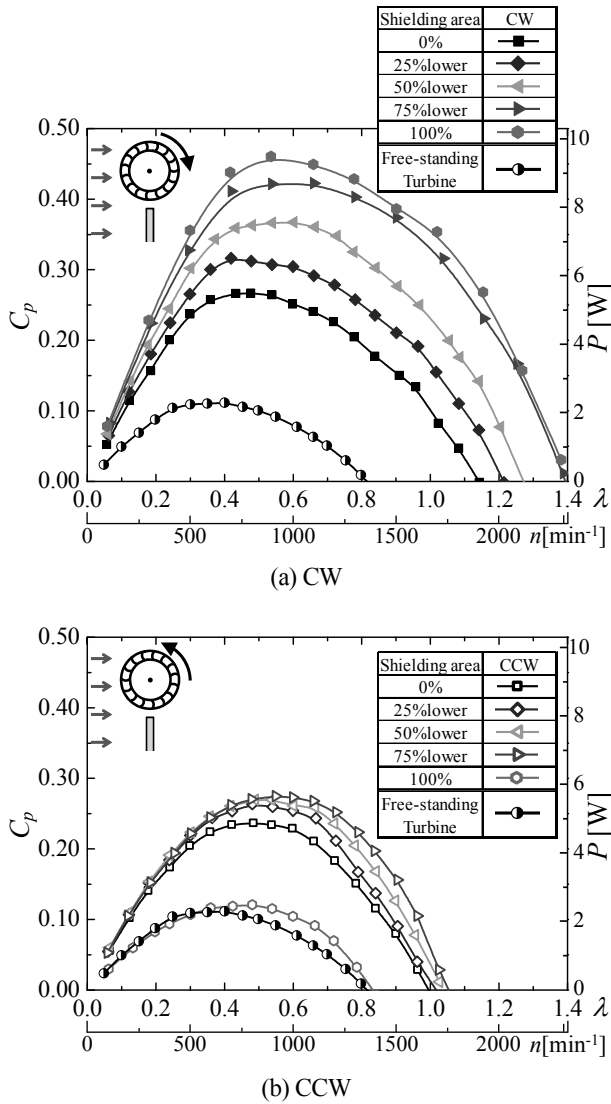


Fig.6 Power coefficient vs. Tip speed ratio ($c = 0.0625$)

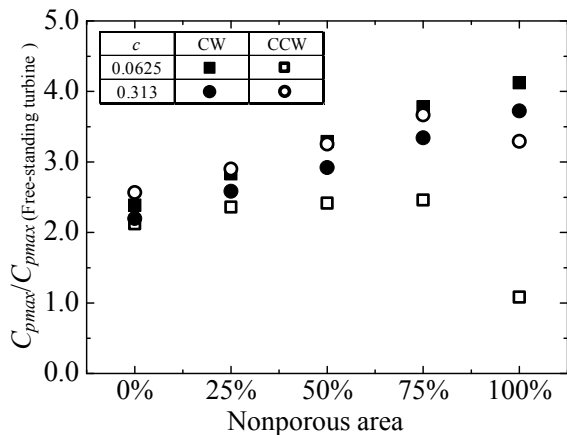


Fig.7 Maximum Power coefficient vs. Nonporous area (Lower part of the fence)

3.3 風車後流域の風速分布

図8, 9に風速 $V = 7\text{m/s}$ において, 有孔板フェンスの無孔板領域を 0%, 50%lower, 50%upper, 100%と変化させた場合の風車後流域の x 方向速度成分 u の時間平均風速分布を示す. 図8(a)~(d)に風車回転方向 CW でクリアランスが小さい $c = 0.0625$ の場合の x 方向平均風速 \bar{u} の等値分布を示す. この図より無孔板領域が大きくなるにしたがって, 風車後流域における吹き上がりの角度が大きくなっていることがわかる. また, 風車上方からの流れも無孔板領域の増大に伴って増速されている. このことから, 風車回転方向 CW の場合, フェンス上部の無孔板領域が大きくなるにつれて, 風車に対してプラスの回転力を発生する羽根に強い風が当たり, 図5のように出力係数が増加するといえる. また図5より, クリアランス $c = 0.0625$ で風車回転方向 CW の場合の最大風車出力について, 風車単体の時の最大風車出力を基準として増加率を求め, それらの3乗をとると, 無孔板領域0%の場合は1.3倍, 50%lowerの場合は1.5倍, 50%upperの場合は1.5倍, 100%の場合は1.6倍となる. これは図8(a)~(d)で示された同じ条件における風車後流の上層部における風速増加率 \bar{u}/V におおよそ一致する結果となる.

一方, 図8(e)~(h)に風車回転方向 CCW でクリアランスが小さい $c = 0.0625$ の場合の主流方向速度の等値分布を示す. この場合も, 無孔板領域が大きくなるにしたがって, 風車後流域における吹き上がりの角度が大きくなり, 風車上方からの流れも増速されている. しかし, 吹き上がりの角度は風車回転方向 CW の場合よりも小さくなっている. また, 風車とフェンスの隙間からの流れはほとんど見られない. このことから風車回転方向 CCW の場合も, 無孔板領域が大きくなるにつれてフェンスから上昇する風が増大するが, この上昇流は風車の回転を妨げる力を発生する羽根に衝突するため, 図5で見られるように出力係数の低下が起こる.

図9(a)~(d)にクリアランスが大きい $c = 0.313$ の場合で風車回転方向 CW における x 方向平均風速 \bar{u} の等値分布を示す. また風車回転方向 CCW の場合の x 方向平均風速 \bar{u} の等値分布を図9(e)~(h)に示す. 吹き上がりの角度は, クリアランスが小さい場合と同様に, 無孔板領域が大きくなるにつれて高く吹き上がっている. クリアランスが大きい場合, 図8のクリアランスが小さい場合と比較して, 風車とフェンスの隙間を通る流れがはっきりと確認できる. この隙間流れは風車下方の羽根にフェンス上端から上昇してきた流れが衝突・通過していることを示しており, この風が回転力を発

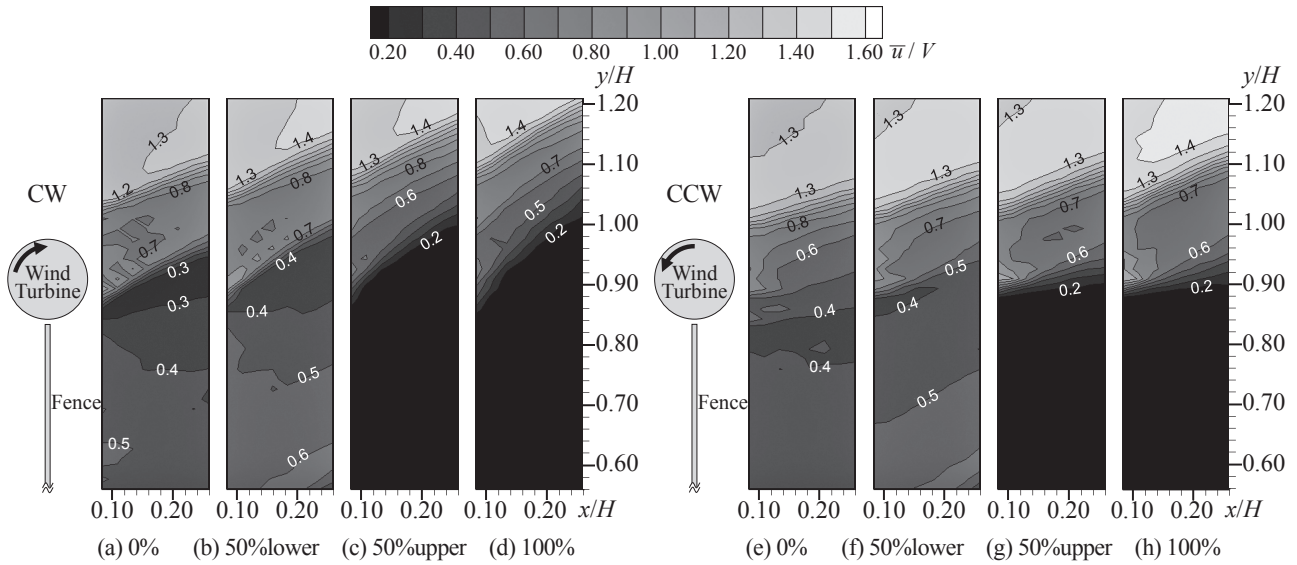


Fig.8 Contours of mean streamwise velocity ($c = 0.0625$)

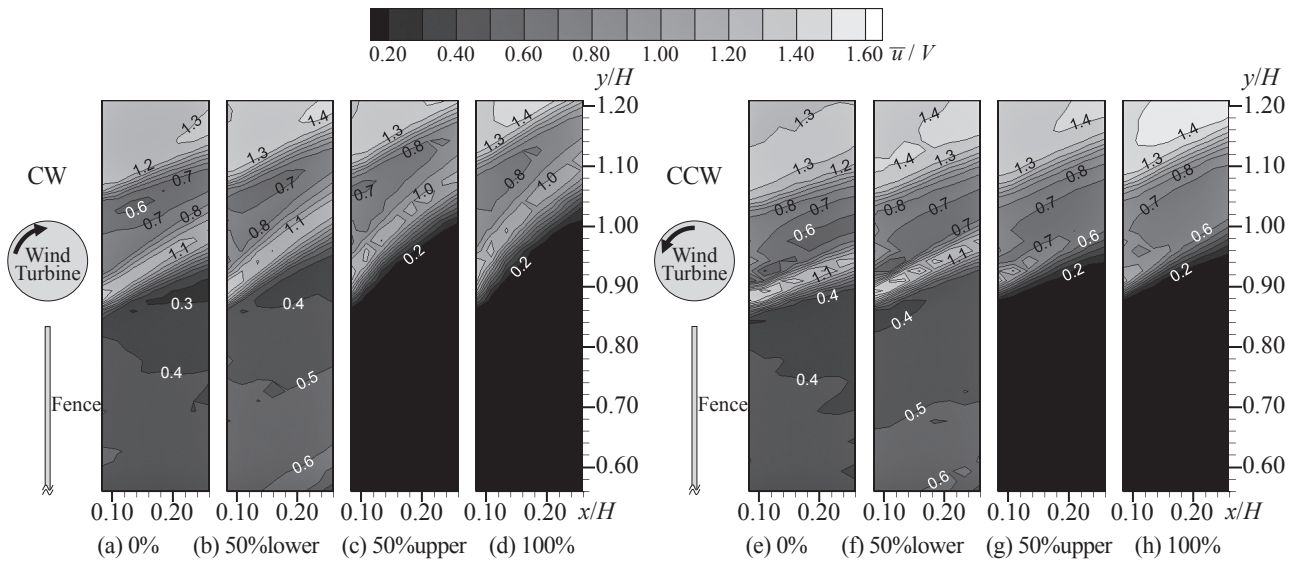


Fig.9 Contours of mean streamwise velocity ($c = 0.313$)

生している。したがって、クリアランスが大きい場合は、無孔板領域が増加しても図5のように風車回転方向CCWの出力係数は増加する。

3.4 風車下流域の流れの可視化

図10にクリアランス $c=0.0625$ として風車回転方向CWで風車を設置し、有孔板フェンスの無孔板領域を0%, 50%lower, 50%upper, 100%と変化させた場合の有孔板フェンス後流域の可視化写真を示す。なお、周速比は最大出力係数となる $\lambda \approx 0.45$ とした。可視化写真からも有孔板フェンスの無孔板領域が大きくなると、吹き上がりが高くなっていることがわかる。無孔板領域0%の場合、有孔フェンスを通り抜ける流れがほぼ一様に下流へと流れている。一方、全く孔の開いていない無孔板領域100%の場合、フェンス後方で流れが

淀んで逆流域を形成している。そして、吹き止め式防雪フェンスを模擬したフェンス下部無孔板領域50%の場合、上部の有孔フェンスでは通り抜ける流れがあるが、下部では流れが留まっていることがわかる。吹き払い式防雪フェンスを模擬したフェンス上部無孔板領域50%の場合、ちょうど風車の後方で流れが弱くなっており、それよりも下方は有孔フェンスを通り抜ける速い流れと、それに引きずられるような流れが発生している。このように、風車を設置した場合においても、吹き止め式防雪フェンスの場合のフェンス近傍での雪を止める流れの滞留の発生、また、吹き払い式防雪フェンスの場合のフェンス下部からの雪は吹き飛ばす速い流れの様相が見られ、風車を取り付けないフェンスの場合と同様な防雪機能があると考えられる。

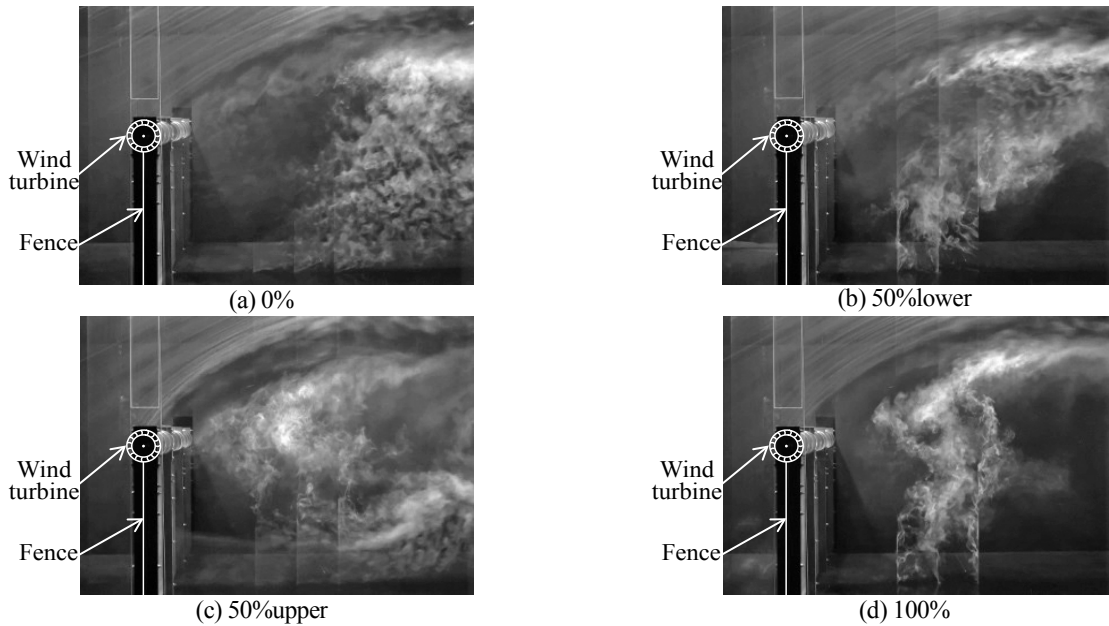


Fig.10 Flow visualization ($c = 0.0625$)

4. 結論

有孔板フェンス上部にクロスフロー風車を設置し、有孔板フェンスの無孔板領域を変化させた場合の風車出力特性及び風車周辺の流れの様相を風洞実験により調べ、以下の結論を得た。

- (1) 風車回転方向 CW として風車を設置することで、クリアランスに関わらず、有孔フェンスの無孔板領域が拡大するにしたがって、風車上方の回転力を発生するフェンスからの上昇流が羽根に当たることで最大出力係数 C_{pmax} が上昇する。最大出力係数はクリアランスが小さい $c = 0.0625$ で、フェンスの無孔板領域を 100% としたときに最も大きくなり、 $C_{pmax} \approx 0.46$ となった。
- (2) 風車回転方向 CCW でクリアランスが小さい $c = 0.0625$ で風車を設置した場合、フェンスと風車の隙間を通り抜ける流れが弱くなる。そのため有孔板フェンス上部の無孔板領域が 25%以上では、風車の回転を妨げるフェンスからの上昇流が羽根に当たり、最大出力係数 C_{pmax} は低下し、ほぼ一定となる。
- (3) 風車回転方向 CCW でクリアランスを大きく $c = 0.313$ として風車を設置した場合、フェンスと風車の隙間を通り抜ける風が風車下方で回転力を発生する羽根に当たるため、有孔板フェンスの無孔板領域の増加とともに最大出力係数 C_{pmax} は増加する。最大出力係数はフェンスの無孔板領域を 75%lower とした場合に最も大きくなり、 $C_{pmax} \approx 0.41$ となった。
- (4) 可視化実験の結果より、各種の防雪フェンス上部に風車を設置しても、風車を設置しない防雪フェンス下流の流れと定性的に一致することがわかった。

参考文献

- 1) 谷野忠和, 仲野晋一郎, クロスフロー風車の翼枚数および取付角が出力特性に及ぼす影響, *日本機械学会論文集 (B 編)*, Vol.73, No.725, 2007, pp.225-230.
- 2) 重光亨ほか2名, 対称形ケーシングによるクロスフロー風車の高性能化に関する研究, *日本機械学会論文集 (B 編)*, Vol.74, No.743, 2008, pp.1505-1511.
- 3) 清水幸丸ほか2名, クロスフロー風車の高性能化に関する研究 (ガイドベーン付リングディフューザによる出力増強方法について), *日本機械学会論文集 (B 編)*, Vol.64, No.625, 1998, pp.2958-2963.
- 4) 谷野忠和, 仲野晋一郎, 構造物端壁剥離流れの有孔利用および入口流れ改善によるクロスフロー型風車の出力特性の向上 (端壁剥離流れの有効性と端壁部誘導板による入口流れの改善), *日本機械学会論文集 (B 編)* Vol.73, No.726, 2007, pp.588-593.
- 5) 木綿隆弘ほか5名, 防風フェンス上部にあるクロスフロー風車の性能と周りの流れに関する研究, *第21回風工学シンポジウム論文集*, 2010, pp.221-226.
- 6) Dong,Z., Luo,W., Qian,G, Wang,H., A Wind Tunnel Simulation of the Mean Velocity Fields Behind Upright Porous Fences, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 146, 2007, pp.82-93.
- 7) 木綿隆弘ほか5名, 有孔板フェンス周りの流れの風洞実験と数値解析, *第17回風工学シンポジウム論文集*, 2002, pp.351-356.
- 8) 高井和紀ほか2名, 吹雪障害を防止する防雪柵, *ながれ: 日本流体力学会誌* 28(6), 2009, pp.469-476.
- 9) 日本建設機械化協会, 新防雪工学ハンドブック, 森北出版, 1977, pp.242-251.