

サボニウス風車 (側板の影響)

Savonius type wind turbine (Influence of a side plate)

上野 博之^{*1}(日大)
Hiroyuki UENO三野 正洋^{*1}
Masahiro MINO高田 紀久^{*2}(山産技短大)
Norihiisa TAKADA

Abstract

In this paper, we study the revolution of Savonius rotor influenced by the flow turning to downstream of the rotating rotor. The flow turning to downstream of a returning rotor is prevented by the deflecting plate which consists of a long flat plate. As the returning rotor exist in a separate flow area, the revolution of the rotor increases. But its revolution is less than when a deflecting plate is employed. A flat plate is placed near the rotating rotor to reduce the turning flow. In this case, the revolution of the rotor reduces. When the flat plate is placed on the returning rotor side, and also placed on the advancing rotor side, there exists a narrow zone where the revolution decreases.

キーワード : 自然エネルギー、風力タービン、サボニウス羽根、トルク、うず法、偏風板
Key Words : Natural Energy, Wind Turbine, Savonius Rotor, Torque, Vortex Method, Deflecting Plate

1. はじめに

サボニウス風車の回転力を増すための一手段として、サボニウス風車の羽根(以後回転羽根と呼ぶ)の回りに平板等を置くことがある(以後集風装置と呼ぶ)^{1), 2)}。回転羽根の近くに回転力を増すための装置を設置しない場合(以後NONの場合と呼ぶ)と比べ、集風装置を付けると回転羽根付近の流れが複雑になる。

集風装置を設置すると、回転羽根の回転数に影響を及ぼすと考えられる現象を多数見ることができる。多くの現象の中から、特定の現象を取り上げるために単純化した流れ場を使用して考察することが行われている。例えば偏風板を設置して回転羽根の回転数を増す試み¹⁾は、8枚の平板で構成される集風装置^{3), 4), 5)}付近の流れを単純化するために、1枚の平板を用いて回転羽根付近の流れを調べたものであると考えることもできる。

本研究は、8枚の平板を設置して集風装置とする場合について、回転羽根の回転数が集風装置の設置により受ける影響を、NONの場合と比較して調べるが、まず特定の現象を取り上げ、最後に総合的な考察を行う。

本報告では、戻り羽根円弧部先端付近、あるいは進み羽根円弧部先端付近を通り、回転羽根の下流側に発生しているうず域へ向けて回り込む流れが、回転羽根の回転数に及ぼす影響を調べる。

回り込む流れが回転羽根の回転数に及ぼす影響は実験を行って調べる。回転羽根付近の流れはうず法を使った数値実験⁶⁾により調べる。そして実験結果と計算結果を比較して回り込む流れについて考察を行う。周速比は1.0付近の場合に限定する。

2. 実験装置

実験装置の概要を Fig.1に示す。風管の断面は486×735mmである。風管出口部の上下に、風管と同じ幅の板を置いた。なお、側面は開放とした。

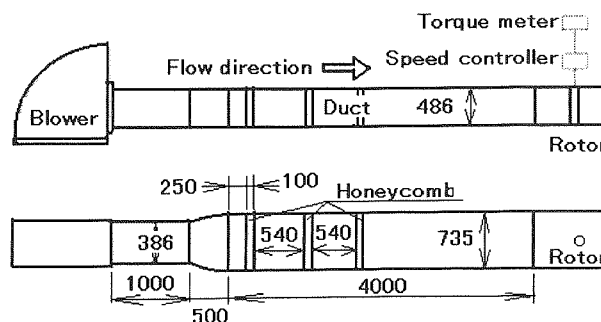


Fig.1 Experimental Apparatus

風管出口部に回転羽根を置く。風車は鉛直に設置した。回転羽根の近くに主流の方向を変えるL形状の板あるいは平板を置いた。回転羽根は4種類を使用した。

トルクメーターを用いてトルクを一定として、回転羽根の回転数と風速の関係を調べる。送風機の回転数を変えて

*1 日本大学生産工学部教授
(〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)
e-mail: ueno@cit.nihon-u.ac.jp

*2 山形産業技術短期大学
(原稿受付: 2002年12月5日)

風速を変更した。出口風速は 7m/s 以下で行った。

なお、回転羽根付近を拡大して Fig.2、Fig.3に示す。Fig.2と Fig.3を見て、主流は下側から上側へ向けて流れているとする。

2.1 L 形状の板

Fig.2は流れの方向を変えるL形の板(板の辺は短辺、長辺と呼ぶ)を戻り羽根の上流側に設置した場合である。長辺は主流と平行に設置した。図の縦軸は、回転羽根の回転中心を通り主流の方向に取った軸である。縦軸に直角に横軸をとる。

横軸からの距離Bを変えず(80mmとした)、縦軸からの距離Aを変えてL形状の板の位置とする。Ex1はA=0mmの場合、Ex2はA=35mmの場合を示す。

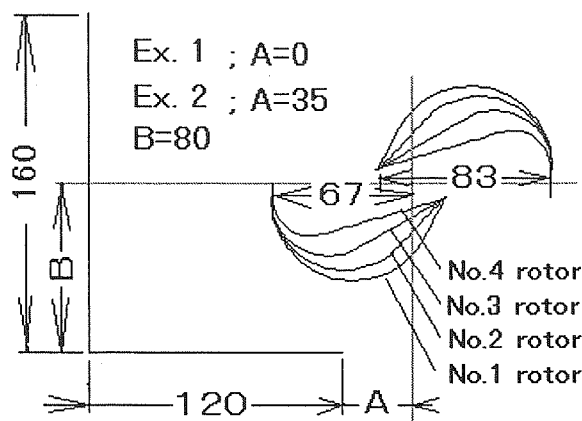


Fig.2 Position of L-type plate

1枚の回転羽根は直線部と円弧部からなる。回転羽根の直線部先端と円弧部先端の間の長さ(翼弦長)は 83mm とする。回転羽根の回転半径は 67mm である。実験に使用する4種類の回転羽根の形状を図中に示す。円弧部の半径を変えて羽根形状の変化とする。

図に示す回転羽根の位置(横軸を基準とする)を回転角 0° とする。Fig.2を見て(後述する Fig.3も同じ)、下側にある羽根を戻り羽根と呼ぶ。回転角が -90° から $+90^\circ$ までの範囲にある場合である。

2.2 平板

Fig.3は回転羽根の側面に平板を設置した場合である。

平板は主流の方向に平行に設置する。平板の設置位置を表す図中のCは 83mm~135mm とする。Bは 75mm(一定値)とする。

平板は回転羽根の進み羽根側(Lと書く)、あるいは戻り羽根側(Rと書く)に設置する。Fig.3は進み羽根側に設置する場合である。回転羽根として No2 rotor を使用する。

2.3 無次元の長さ

翼弦長 83mm で寸法を除いた値を使用して無次元表示

する。Ex2の場合のA=35mmが0.42、B=80mmが0.96である。短辺の長さ 120 mm は 1.44、長辺の長さ 160 mm は 1.92 である。平板の長さ 250mm は 3.0、横軸からの距離 75mm は 0.9 である。

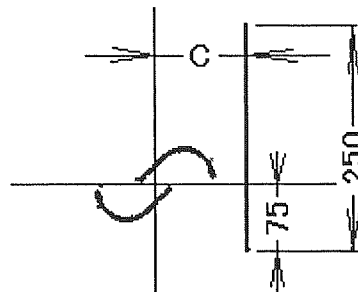


Fig.3 Position of side plate

3. 実験結果

3.1 L 形状の板の場合

L形状の板をEx1の位置とEx2の位置に設置し、風速を 3m/s から 7m/s まで変え、回転羽根の回転数を測定した。

3.1.1 設置位置の影響

Fig.4は回転羽根の形状として No2 rotor を使用した場合で、風速と回転羽根の回転数の関係である。回転羽根の近くに何も置かない場合を NON と記した。

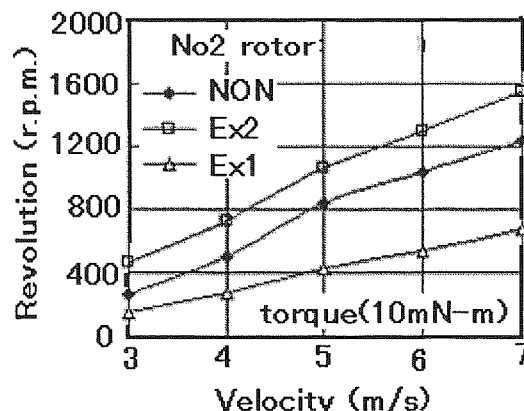


Fig.4 Influence of position

Ex.2の場合の回転数は NON の場合の回転数より全体的に約20%だけ増加している。しかし、偏風板を設置する場合と比較すると回転数は低い¹⁾。風速の増加に伴い Ex.2 と NON の場合の回転数は増加するが、その増加率はほとんど変わらない。

Ex.1の場合は、Ex.2とNONの場合に比べて全体的に回転数が低い。また、風速の増加に対して回転数が増加する割合も低い。

3. 1. 2 回転羽根の羽根形状の影響

L 形状の板を Ex.2 の場合に位置に設置し、Fig.2 に示す 4 種類の回転羽根の形状を使用する。Fig.5 は、風速が回転羽根の回転数に及ぼす影響である。

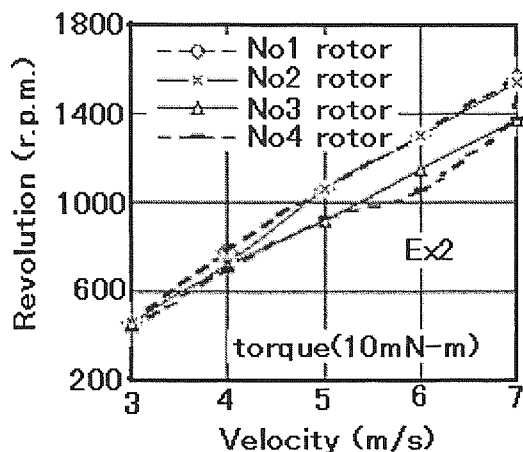


Fig.5 Influence of rotor

風速が 5m/s 付近以上では、回転数は羽根形状が No1 の場合の方が No3 の場合より約 20% だけ高い。しかし、風速を増すにつれて増加する回転数の増加率の傾向が羽根形状で大きく異なることはない。5m/s 以下では羽根形状による回転数の差はほとんど現れない。

NON の場合は、No2 と No3 の羽根形状の場合に回転数が高くなる⁷⁾。羽根形状が回転数に及ぼす影響は L 形状の板の影響を受けていると考えられる。

3. 2 平板の場合

平板を回転羽根の側面に設置したときの回転数の傾向を Fig.6 に示す。

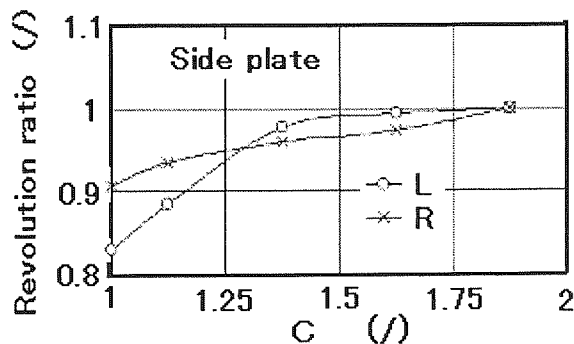


Fig.6 Influence of side plate

縦軸の回転数比は、NON の場合に測定した回転数で、回転羽根の近くに平板を設置したときに測定した回転数を除した無次元回転数である。無次元であるから単位記号は (/) と表す。横軸は無次元の長さである。回転羽根の回転半径は 0.8 である。

平板の位置が回転羽根の近くにあると、回転数は低くなる。戻り羽根の側より進み羽根の側に平板を設置する場合の方が回転数は低下する。平板を回転羽根から離すにつれて回転数は高くなるが、設置位置が 1.4 付近より離れると回転数は NON の場合とほぼ同程度となる。

4. 計算

L 形状の板、あるいは平板を設置したとき、回転羽根付近の流れが変化する状態を調べる。

4. 1 計算方法

本計算は詳細なデータを得ることが目的ではなく、回転羽根付近の流れの傾向を調べ、実験結果の考察に用いることが目的である。

回転羽根付近の流れは、離散渦法を用いて計算する。粘性の影響は無視する。計算に使用した諸係数は、従来の研究を参考にして決めた⁶⁾。1回の計算に 3° 回転するとし、周速比は 1.1 とし、計算開始から 3 周目付近を示す。

回転羽根の左側、上流側を負の方向にとる。r は円弧部の半径、 θ は横軸を 0° とする回転角である。

4. 2 L 形状の板

L 形状の板の位置は、短辺の先端の位置 (A, B) を用いて表す。長辺は主流に平行に設置する。

偏風板を設置する場合に、回転羽根の回転角の一時期であるが、回転羽根の回転中心に近い方の端ではなく離れた流れが偏風板と戻り羽根との間を通過する。この流れは回転羽根の回転方向と逆向きに流れる⁸⁾。すなわち、戻り羽根は回転一周期中の一時期だけは離域の中にある。

平板である偏風板の一端に長辺を付ける (Fig.2) と、この付近を通過する流れは長辺の方向へ向く流れとなり、羽根間 (進み羽と戻り羽根の間) を通過した流れと、長辺の端より更に下流側で合流する。すなわち、戻り羽根円弧部凸面側は、回転方向と逆向きの流れが現れない回転角の時期には離域の中に入っている。

4. 2. 1 L 形状の板が作る離域

Fig.7 ~ Fig.9 では、短辺と長辺の長さを 1.0 × 2.0 とし、円弧部半径を 0.4 とした。

Fig.7 の場合は、 $\theta = 120^\circ$ 付近になると回転羽根と L 形状の板の短辺との間が十分にひらくため、戻り羽根方向の流れ (逆向きの流れ) を観察できる。回転角が $\theta = 0^\circ$ 付近になり間隔が狭くなっても、はく離域が縮小するため逆向きの流れが消滅することはない。回転羽根の回転の一周期を通して逆向きの流れを観察できる。

Fig.7 の場合より短辺の先端が縦軸に近づいた Fig.8 と Fig.9 の場合は、 θ が 120° 付近の狭い回転角の時期に逆向き流れを観察できるが、その他の角度では、一例として θ が 0° の場合で示すように観察できない。したがって、ほぼ

回転の一周期を通して、戻り羽根円弧部凸面側の部分ははく離域の中にある。

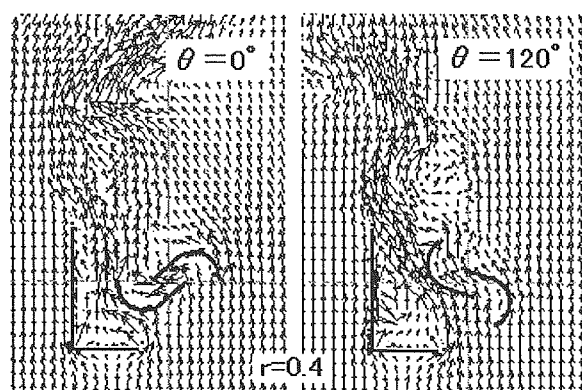


Fig.7 Influence of L type plate $A=-0.5, B=-1.1$

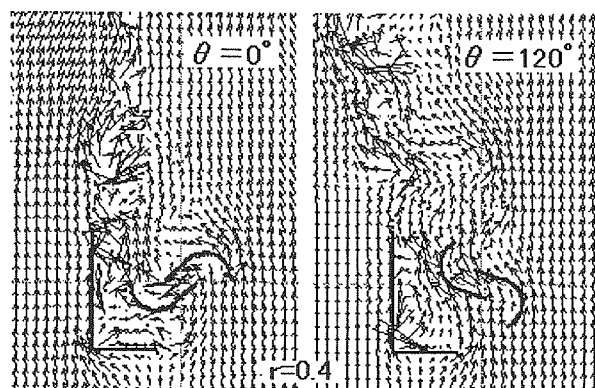


Fig.8 Influence of L type plate $A=-0.4, B=-1.0$

4. 2. 2 羽根間を通過する流れの減少

Fig.9は短辺の先端を縦軸に近づけた場合である。

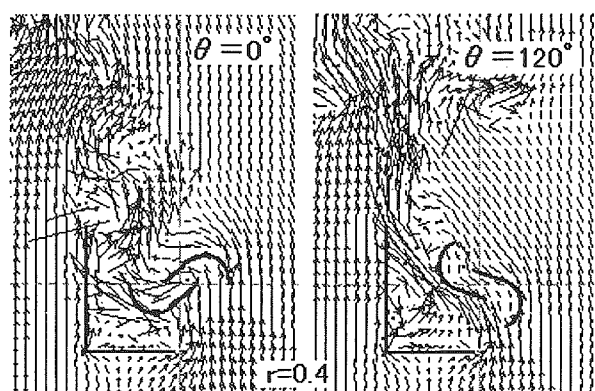


Fig.9 Influence of L type plate $A=-0.1, B=-1.1$

短辺の先端が縦軸に近づくと(Ex.1)、戻り羽根の円弧部凸面側が短辺の下流側ではく離域の中に入る(Fig.9の $\theta = 0^\circ$) 回転角の時期が増える。また、短辺の上流側付近を通過する流れは羽根間を通過する流れとなるよりも、進み羽根円弧部の先端の方向へ向くようになる。これらのため

Fig.4によると回転羽根の回転数は減少し、風速の増加につれて増す回転数の、増加率も減と考えられる。

4. 2. 3 回転数の増加

Fig.10は、短辺を1.44とし、長辺を1.92とし、先端の位置を(0.42,0.96)とした場合である。実験に使用した L 形状の板に近い形状並びに設置位置の場合である。

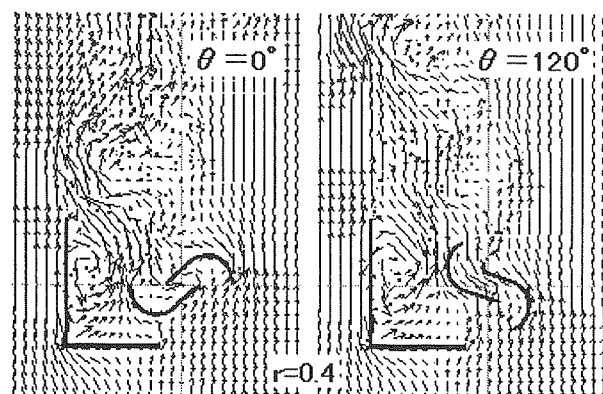


Fig.10 Influence of L type plate $A=-0.44, B=-0.92$

Fig.8と Fig.9の場合と同様に、戻り羽根円弧部凸面側は回転のほぼ一周期を通してはく離域の中にある。一方、短辺のために羽根間へ向く流れが強められていることを図より観察できる。短辺により発生する羽根間へ向く流れの増加(偏風板設置時にも現れる)も回転数を増加させる大きな要因であると考えられる⁸⁾。

一方、Fig.4に示した NON の場合と比べると約 20%の回転数増加である。戻り羽根円弧部凸面側をはく離域の中に入るとき戻り羽根に作用する流体抗力が減少して回転数は増すが、その増加の程度は大きくないと考えられる。

4. 2. 4 羽根形状に対する考察

回転羽根の円弧部半径の相違が回転羽根付近の流れに及ぼす影響を調べ Fig.11~Fig.13に示す。短辺と長辺の長さは 1.0×2.0 とした(Fig.7~Fig.9の場合と同じ)。

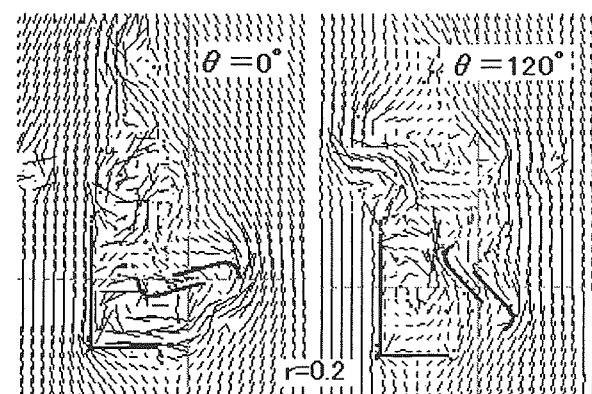


Fig.11 Influence of L type plate $A=-0.5, B=-1.1$

円弧部の半径は、Fig.11の場合が 0.2、Fig.12が 0.3、Fig.13が 0.45 である。0.4 の場合は Fig.7に示した。

Fig.11と Fig.13の比較で見ることができるが、円弧部半径が小さいほど、羽根間の流路は狭くなり、また戻り羽根の円弧部凸面側は短辺の下流側に入る ($\theta = 0^\circ$)。これは羽根形状を変えたときの幾何学的な特徴である。

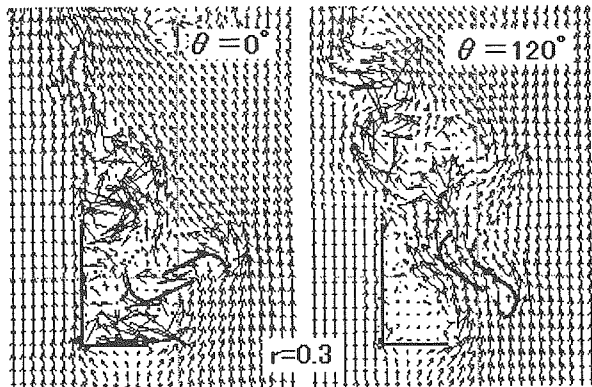


Fig.12 Influence of L type plate $A = -0.5, B = -1.1$

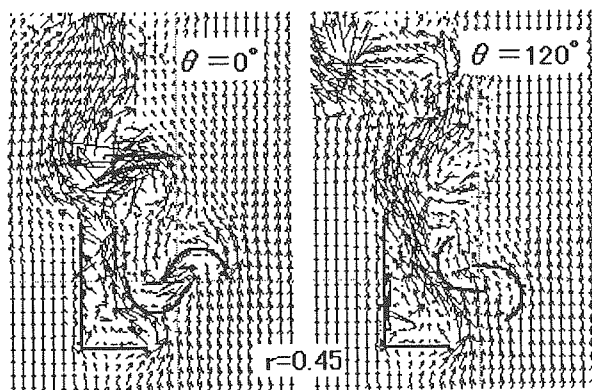


Fig.13 Influence of L type plate $A = -0.5, B = -1.1$

逆向きの流れは円弧部半径が 0.4 と 0.45 の場合にほぼ回転の一周期で観察できる。0.3 の場合は回転角が 90° と 150° の間付近で観察でき、0.2 になると 120° 付近で観察できる。円弧部半径が大きい ($r=0.4$ と 0.45) と羽根間へ向く流れは多く、円弧部半径が小さい ($r=0.2$ と 0.3) と進み羽根円弧部先端付近へ向く流れが増え、羽根間へ向く流れは少なくなる。

Fig.5に示したが、円弧部の半径が大きいと回転数が高く、小さいと回転数は低い。短辺の上流側から回転羽根へ向く流れは、円弧部半径が大きいほど戻り羽根円弧部凸面側の近くを流れる ($\theta = 0^\circ$)。この流れが羽根間へ向く流れを増すから、この流れは回転数増加の一因となると考えられる。

4.3 主流に平行に設置した長い平板の場合

平板の位置は、Fig.2に示した B と Fig.3に示した C を用いて (C, B) と表す。平板の長さは 3.0 とする。

NON の場合は、回転羽根の回転につれて回転羽根付近の流れが複雑に変動する⁷⁾が、回転羽根の近くに長い平板を置くと、平板の近くの流れは平板の方向を向く流れとなるから、平板を設置することにより回転羽根の下流側の流れが影響を受けることになる。

4.3.1 進み羽根側に設置した場合

平板の先端の位置が (1.0, -0.9) の場合を Fig.14に示し、(1.4, -0.9) の場合を Fig.15に示す。Fig.6によれば NON の場合より、それぞれ約 18% だけ、約 2% だけ回転数が低下する設置位置付近である。

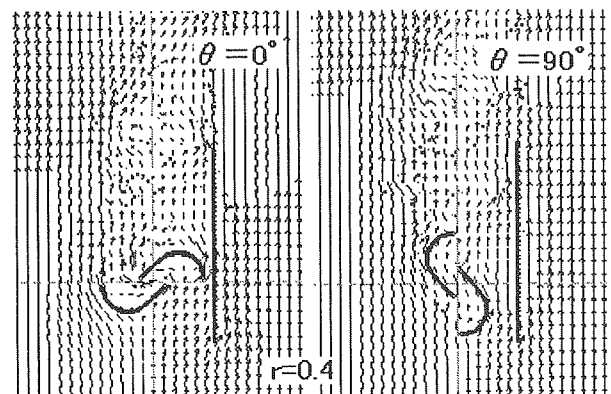


Fig.14 Influence of flat plate $C = -1.0, B = -0.9$

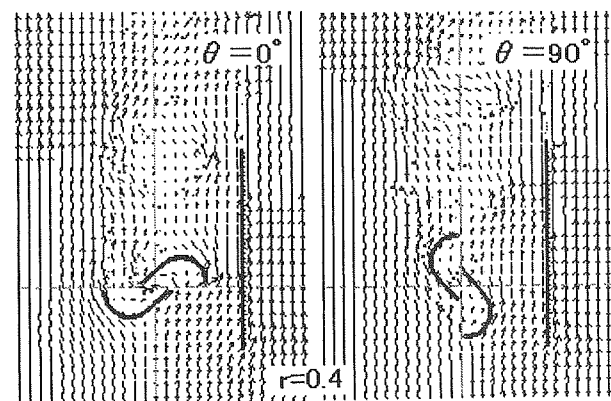


Fig.15 Influence of flat plate $C = -1.4, B = -0.9$

平板の設置位置付近を右側から左側へ向けて流れる、NON の場合⁷⁾に観察できる流れは平板の設置により抑制される。同時に戻り羽根側から回転羽根の下流側へ回り込む流れも平板の影響を受けて抑制される。したがって、羽根間を通過する流れも減少している。平板と回転羽根は流れに対する障害物となり、その回り(外側)を流れる流れが強まっている。そこで、回転羽根の下流側に大きな低速域が広がる。

Fig.14と Fig.15の比較で示すが、この低速域は回転羽根と平板の間隔が広がるにつれて小さくなる。低速域の大きさの相違は進み羽根の先端付近の流れにある。ところで、平板との間隔Cが増加するにつれて進み羽根円弧部凸面

側の近くを流れる流れが強くなるが、この流れは回転数を増加させる⁷⁾と考えられる。

しかし、回転羽根の下流側にある低速域の影響が大きいために、回転羽根の回転数は低下すると考えられる。

4. 3. 2 戻り羽根側に設置した場合

平板の先端の位置を、 $(-1.0, -0.9)$ とする場合を Fig.16 に示し、 $(-1.4, -0.9)$ とする場合を Fig.17 に示す。Fig.6 によれば NON の場合と比較して、それぞれ約 10% だけ、約 3% だけ回転数が低下する設置位置付近である。

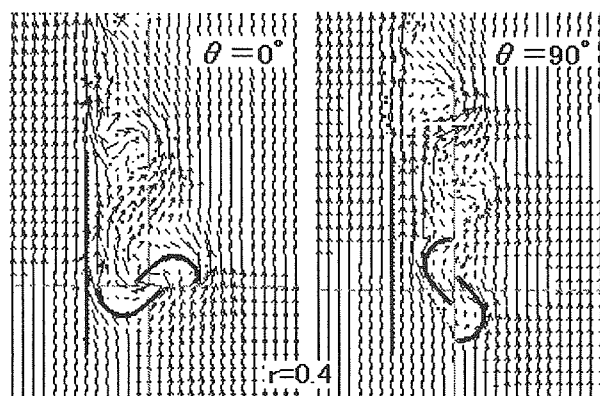


Fig.16 Influence of flat plate $C = +1.0, B = -0.9$

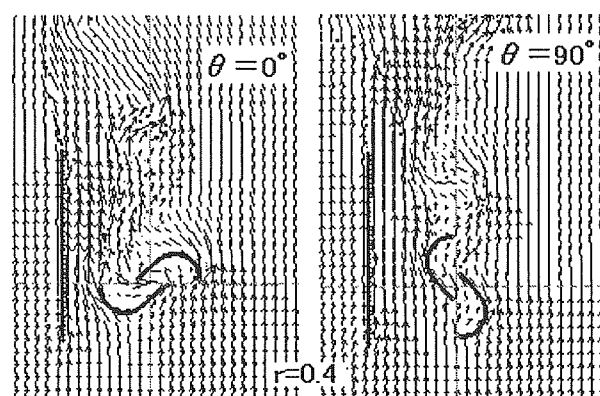


Fig.17 Influence of flat plate $C = +1.4, B = -0.9$

Fig.16 と Fig.17 の比較で示すが、進み羽根円弧部先端付近を通過する流れはほぼ同じに見える。

NON の場合⁷⁾、進み羽根先端付近を通過した流れは戻り羽根の方向へ偏り、羽根間を通過する流れは戻り羽根円弧部先端付近を通過した流れと合流してほぼ主流の方向へ流れる。一方、平板を設置すると、進み羽根先端付近を通過した流れの偏りが少し抑制され (Fig.17)、平板付近の平板に平行な流れのために羽根間を通過した流れの方向が変化する。

$\theta = 90^\circ$ の場合は戻り羽根の下流側に、 $\theta = 0^\circ$ の場合は進み羽根の下流側に小さな離域が現れる。羽根間を通過した流れはこの離域の外側 (下流側) を流れる。また、Fig.16 の場合であるが、平板の下流側の端付近に、

多少の位置の変動はあるが回転の一周期を通してほぼ定着した離域を観察できる。すなわち、羽根間を通過した流れは進み羽根側へ曲げられたように見える。

平板と回転羽根との間の距離が短いとき、戻り羽根に作用する流体抗力が増加して回転数が減少すると考えられるが、流体抗力が増加する一因は、羽根間を通過した流れの流出が平板の設置により僅かではあるが妨げられることにあると考えられる。

5. まとめ

偏風板の一端に長い平板を付け、戻り羽根円弧部凸面側付近をほぼ回転の一周期中は離域の中に置いた。羽根の近くに何も置かない場合と比較して回転数は増加したが、増加の程度は少ない。

長い平板を回転羽根の近くに、主流の方向と平行に設置し、回転羽根の下流側へ回り込む流れが回転羽根の回転数に及ぼす影響を調べた。

回転羽根の進み羽根側に平板を設置すると、回転羽根の下流側に大きな低速域が現れる。この低速域の影響を受けて回転数は低下する。

回転羽根の戻り羽根側に平板を設置した場合、進み羽根と戻り羽根の間を通過する流れの流出が、僅かではあるが抑制される。このとき回転数は低下する。

サボニウス風車の羽根の回転中心から平板までの距離が、1枚の羽根の両端間の長さ (翼弦長) の約 1.4 倍だけ離れているとき、平板が回転数に及ぼす影響は無視できるほど少なくなる。

6. 引用文献

- 1) 長澤忠延、池田敏彦、桂川順、吉田尚史、土屋良明: 案内羽根を持つサボニウス風車の出力特性、日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (1999.10.7-8・鳥取市) 495-496
- 2) 加藤真史、長澤忠延、池田敏彦、松原雅春、吉田尚史: 案内羽根を持つサボニウス風車の可視化実験、日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (2001.10.2-3・宮城蔵王) 1305
- 3) 呉鐘、木谷収、岡本嗣男、鳥居徹: サボニウス風車の効率向上に関する研究 (第1報)、農業機械学会誌 58-2 (1996) 11-17
- 4) 小川武範、田原和之、鈴木計夫: サボニウス風車に関する研究 (第2報、静止案内羽根を持つ場合) 機械学会論文集 (B編) 51-471 (1985) 3516-3522
- 5) 呉鐘、木谷収、岡本嗣男、鳥居徹: サボニウス風車の効率向上に関する研究 (第2報)、農業機械学会誌 58-4 (1996) 3-7
- 6) 小川武範: サボニウス風車に関する研究 (第1報理論解析)、日本機械学会論文集 (B編) 49-441 (1983) 976-984
- 7) 上野博之、三野正洋、高田紀久: サボニウス風車 (回転羽根凸面側の流れ)、太陽エネルギー 28-5 (2002)、42-49
- 8) 上野博之、三野正洋、高田紀久: サボニウス風車 (偏風板と羽根付近の流れ)、太陽エネルギー 28-5 (2002)、50-55