

サボニウス風車(偏風板と羽根付近の流れ)

Savonius type wind turbine
(Flow near the deflecting plate and rotors)

上野 博之 *1
Hiroyuki UENO

三野 正洋 *1
Masahiro MINO

高田 紀久 *2
Norihisa TAKADA

Abstract

A wind concentrator with eight guide vanes increases the efficiency of the Savonius wind turbine. The optimal rotor shape for the concentrator is found by experimental study.

When there is only one guide vane, it is called a deflecting plate. The shape of the deflecting plate that increases the efficiency of the Savonius wind turbine (flat plate placed perpendicular to the flow) is found by an experimental study. This report shows the flow near the deflecting plate.

A separating area produced by the deflecting plate placed perpendicular to the main flow covers the returning rotor. When it has a short plate at one side (L-type), and when the deflecting plate is placed obliquely, a flow toward the returning rotor appears.

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

サボニウス風車は、例えば農業用の揚水、水中への酸素供給用などとして使用される。屋外設置の場合の問題点は、大気乱流境界層が作る風速、風向の変動である。サボニウス風車は風向の影響を受けにくい構造であるが、さらによく回転させるために集風装置を設置する。集風装置の形式はダクト内流れで使用されている急拡大管形式とするもの¹⁾、案内羽根を設けるもの²⁾、偏風板を設けるもの^{3), 4)}に大別できるが、いずれも風向の影響を受けることが欠点とされている。

サボニウス風車の羽根は、駆動側の羽根である進み羽根と風車抵抗を発生する戻り羽根の2枚の羽根からなる。風車の回転力を高めるための手段は、文献^{1), 2), 3), 4)}より戻り羽根に発生する風車抵抗を減らすこと、進み羽根に向かう流れの速度を速めることの2つに要約できる。偏風板形式と急拡大管形式は、主に戻り羽根に作用する流れを操作するものである。案内羽根形式は上記両方を操作する装置である。本報告は偏風板形式について調べる。

偏風板の形状³⁾は、半円、平板、帽子状L形(以後帽子

形と呼ぶ)等である。サボニウス風車の回転羽根(以後回転羽根と呼ぶ)がよく回転する偏風板の形状並びに設置位置は実験的に調べられている。

平板の場合が偏風板としての役割をよく果たすとされ、戻り羽根の上流側に設置すると良いとされているが、回転数増加の効果を上げる設置位置は非常に狭い範囲に限られるとしている。

従来の実験によれば、回転羽根付近の流れは偏風板の形状・設置位置により異なる特有の流れの特徴を示すと考えられる。しかし偏風板を設置したことにより変化する回転羽根付近の流れの調査は不十分である。

偏風板の形状ごとに流れの特徴を調べることも必要であるが、本報告では偏風板として平板と帽子形を使用した場合を取り上げる。

まず平板の場合を取り上げ、次に平板の下端に板を付けL形状とし、さらにその下板の長さを長くして等辺のL形状(以後等辺L形と呼ぶ)とする。そして最後に等辺L形を回転させて帽子形にする。

平板から帽子形に形状を徐々に変える途中の過程であるL形状の場合でも偏風板としての役割を果たすことを実験的に確認する。それからうず法を使った数値実験⁵⁾により、偏風板の設置位置並びに大きさ・形状を変更して回転羽根付近の流れの特徴を調べる。

従来の実験より、風向き変化が激しい自然風の下では、偏風板を実用的装置として設置する機会は非常に少ないと

*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

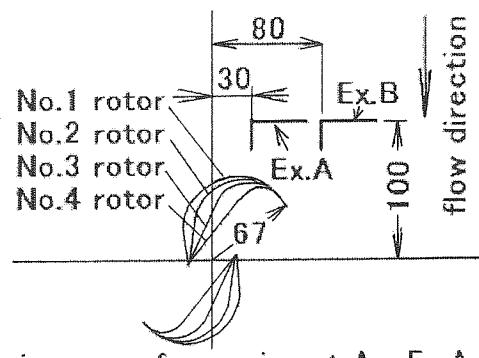
*2 山形産業技術短期大学

(原稿受付 : 2001年10月29日)

考えられるが、集風装置設置時の戻り羽根付近の流れに対する一考察としては避けて通れない課題であるから、偏風板を用いた回転羽根付近の流れを調べる。

2. 実験装置

実験装置の概要を図1に示す。A図は風車と偏風板の概要を表す。A図の縦軸方向が主流方向(図を見て上から下へ流れる)である。B図は風管である。風管は平行部が4mで断面は長方形(縦方向と横方向の長さが486mm×736mm)である。風車は風管出口部に鉛直に設置した。風管出口部の上下は平板で延長し、側面(横方向)を開放とした(B図の破線部)。回転羽根は直線部と円弧部からなる。使用した4種類の回転羽根は、翼弦長(羽根の両端間を結ぶ線分の長さ)を変えず、円弧部の半径を変えてNo.1 rotor、No.2 rotor、No.3 rotor、No.4 rotorと呼ぶ(A図)。A図に示す回転羽根の上流側に、長辺×短辺が40mm×20mmのL形状偏風板(以後L形と呼ぶ)を置き、風速を変えながらトルク一定のときの風車回転数を調べる。なお、L形の短辺はA図に示す縦軸方向に向くように設置した。



(A) Shape of 4 type rotors and deflecting plate

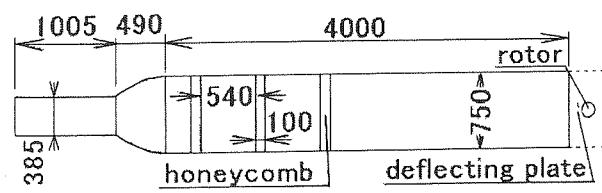


Fig.1 Experimental apparatus

偏風板を置かないと、No.2 rotor付近の形状を持った羽根がよく回転する⁴⁾とされている。

文献[3]によると、A図に示す縦軸方向から右側(戻り羽根方向)へ約30°回転した方向(A図に示すEx.Aの位置付近)に平板を設置すると、平板を置かない場合より回転力が約30%増加するとされ、帽子状の場合は約20°の方向に設置するとき、約20%の増加があるとされている。

3. 実験結果

従来の研究では、最も良く回転する設置位置を探ることが大きな課題とされている。本実験は、平板並びに帽子状の場合に現れる流れの特徴を一部変更(L形を使って)しても偏風板としての効果があることを示す。したがって最も良く回転する位置を探す実験ではない。

実験結果を図2と図3に示す。風速一回転数の関係を表す図2に示すように、勾配等は羽根形状を変えても大きく変わることはない。

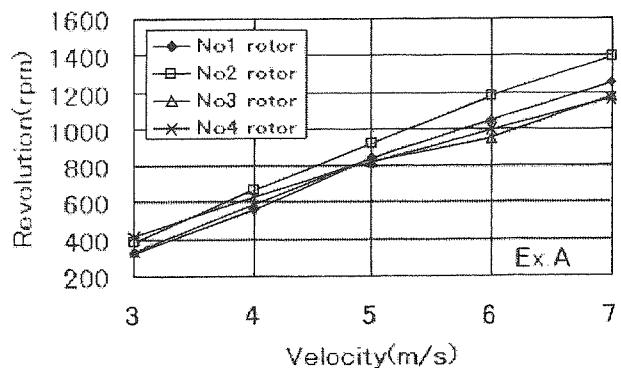


Fig.2 Influence of deflecting plate

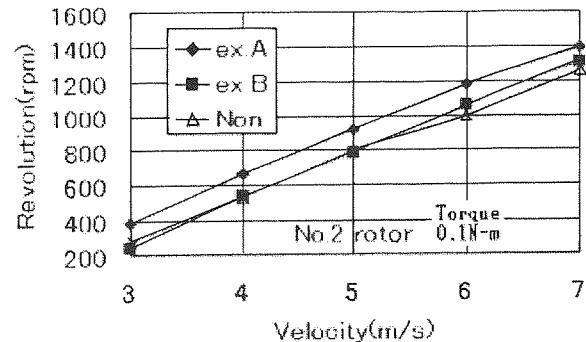


Fig.3 Influence of position

図3に示すが、偏風板を置かない場合(Nonと記す)と比較して、偏風板の設置により羽根の回転数が増加することもある。偏風板の設置位置を変えると、従来の研究と同じように回転力は変化する。なお本実験の設置位置では、回転力の増加は帽子形の場合よりも少ない。

4. 計算条件

計算にはうず法を使う。計算方法の詳細は文献[5, 7]にある。計算に使用する偏風板の形状、並びに設置位置等を図4に示す。計算は周速比0.8で行う。

偏風板の形状は平板、L形、帽子形とする。一边の長さはHLで表す。偏風板の設置位置は、回転羽根の回転中

心を原点とし、図4に示すそれぞれの偏風板下端の位置から原点までの長さ(L_x 、 L_y)で表す。

回転羽根の枚数は2枚とする。羽根両端間の長さを1.0とし、回転羽根の回転半径は0.8とする。図4に示す羽根の位置を回転角 $\theta = 0^\circ$ にとり、計算結果は計算開始からの回転角である $\theta = 900^\circ$ ($360^\circ \times 2.5$)付近で示す。

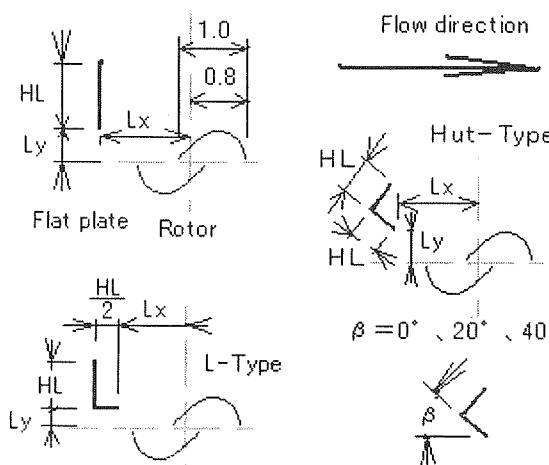


Fig. 4 Shapes of deflecting plate

図4を見て、回転軸の回転中心から水平に取った軸(横軸)の方向を主流の方向とする。 L_x は横軸方向の長さであり、符号は常に+で表す。縦軸方向の偏風板の設置高さである L_y は、横軸より上側を+で、下側を-で示す。上側に位置する羽根を戻り羽根、下側の羽根を進み羽根と呼ぶ。偏風板は戻り羽根の上流側に設置する。

帽子形の場合、図4の右下に示すが、等辺L形の下側端の位置(L_x , L_y)を中心に全体を角度 β だけ傾斜させる。 $\beta = 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$ の場合について示す。

5. 計算結果

主に、偏風板が設置される位置から回転羽根の間までの流れに注目する。この間を簡単のため流路と呼ぶ。

5. 1 流路が広い場合

回転羽根の下流側で観察できる流れと、平板の下流側で観察できる流れの相違を示すために、回転羽根と平板の間隔を十分に離す場合を取り上げる。

図5は、高さ方向(L_y)に十分離れている場合である。

偏風板(図の上側)から渦(カルマン渦)が放出されており、回転羽根(図の下側)から回転毎に現れる回転に伴ううねりのような変動流が発生している⁶⁾。両者の変動流の周波数は一般に一致しない。

図に示す偏風板(平板)が回転羽根の上流側に設置されるとき、周波数不一致の影響が流路付近の流れに現れる。

図6は、 L_x 方向にある程度離れた場合である。回転羽根

の回転角は $\theta = 810^\circ$ (左図)と 990° (右図 $810^\circ + 180^\circ = 990^\circ$)である。

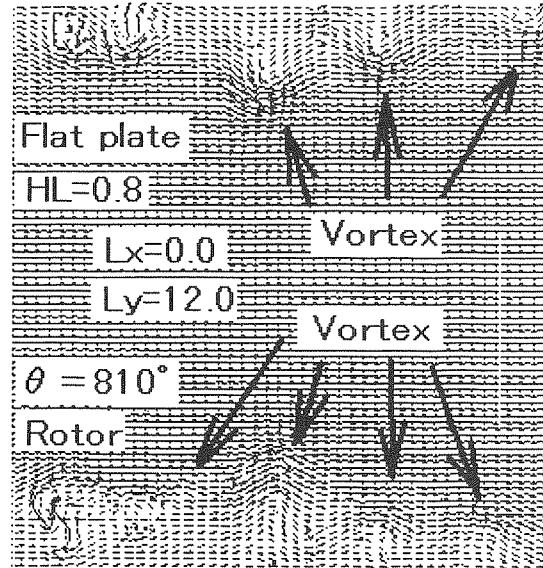


Fig. 5 Comparison between flat plate and rotor

平板の下側(左図)と上側(右図)から交互に巻き込むような流れが発生して渦(記号 V_o で示す)が放出される。

平板の下側から巻き込むような流れが発生しているとき(左図)、平板下側付近の流れを記号Aで示し記号Aの流れと呼ぶ。平板上側付近の流れには記号を付けない。

上側から巻き込むような流れが発生しているとき(右図)、平板上側付近を通る流れを記号Bで示し記号Bの流れ、下側付近を通る流れを記号Cで示し記号Cの流れと呼ぶ。

以後、これらの記号を使って流れの状態を表す。

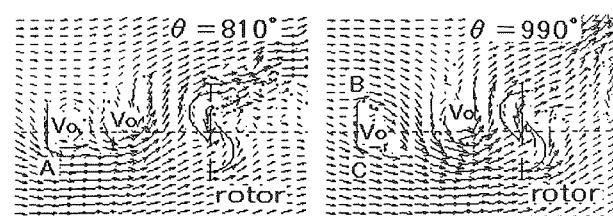


Fig. 6 Velocity distribution $L_x=3.4$, $Ly=-0.2$, $HL=0.8$

図6では、平板で発生した渦 V_o が流路を下流側へ移動する状態を観察できる。このような流れが発生すると、図5で観察できる回転羽根の回転につれて変化する流れと、回転羽根の近くに移動してきた渦のために変化する回転羽根付近の流れが互いに影響を及ぼし合う。すなわち、回転羽根が 180° だけ異なる同じ位置であっても、回転羽根に接近してくる渦の位置は異なるから、流路の流れは回転ごとに大きく異なることを意味している。

5. 2 偏風板を回転羽根の近くに置いた場合

流路が狭くなるから、戻り羽根と平板の間の長さは回転

につれて大きく変化するよう見える。したがって、平板の設置位置が $Lx=2.0$ 程度より小さければ、渦 V_o の大きさが流路の長さ程度、あるいはそれ以下となるから、平板下流側に発生するはく離域の大きさは回転羽根の回転につれて大きく、そして小さくなる。すなわち以下に示す図で、回転羽根の回転角が $\theta = 810^\circ$ (左図)付近のとき記号 A の流れが発生し、 $\theta = 930^\circ$ (右図)付近のとき記号 B と C の流れができる。

5.2.1 平板の長さが長い場合

平板の長さを回転羽根の回転半径の2倍 ($HL=1.6$) とし、平板の設置位置がやや高い場合 (図7) と低い場合 (図8) を使って、平板付近を通過する流れの特徴を示す。

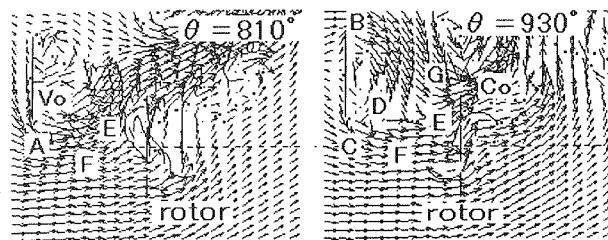


Fig.7 Velocity distribution $Lx=2.3$, $Ly=+0.6$, $HL=1.6$

図7の場合である。記号 A と C の流れは戻り羽根円弧部凸面側付近で分かれれる。一部は羽根の上側へ向けて流れ(以後記号 E の流れと呼ぶ)、他は羽根の下側へ向けて流れる(以後記号 F の流れと呼ぶ)。

記号 B の流れは、主に戻り羽根円弧部凸面側の方向へ流れる(記号 G の流れと呼ぶ)が、その一部ははく離渦が放出されたあと、平板の近くで横軸付近まで下向きに流れる流れ(記号 D の流れ)となる。

記号 E と G の流れは広い領域(記号 Co)で合流する。

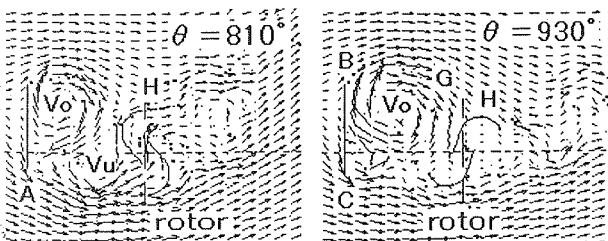


Fig.8 Velocity distribution $Lx=2.3$, $Ly=-0.3$, $HL=1.6$

図8の場合である。記号 A と C の流れは記号 F の流れとなり進み羽根の方向へ向く。

記号 E の流れが現れないとき、記号 G の流れは戻り羽根円弧部凸面側へ衝突する(記号 H で表す)流れとなる。

記号 V_u (左図)で示す流れは、回転羽根の回転につれて下側へ押し出されるように流れる。記号 V_o (左図)で示す渦は、回転につれて右図のように発達する。

平板が長くとも、渦 V_o の成長・放出は回転羽根の回転の影響を受けている。

5.2.2 平板の長さが回転半径に等しい場合

従来の実験によれば、平板の設置位置 Ly が高すぎても(図9)、低すぎても(図11)、平板を置かない場合より低い回転力しか出せないが、図9と図11の間付近に置かれるとき、回転力が高くなる(図10)とされている。

下図は Lx を変えず縦軸方向設置位置 Ly を変えてある。

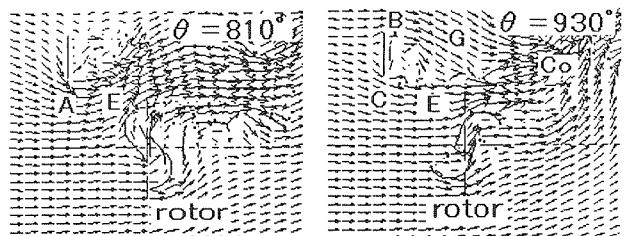


Fig.9 Velocity distribution $Lx=1.6$, $Ly=+1.4$, $HL=0.8$

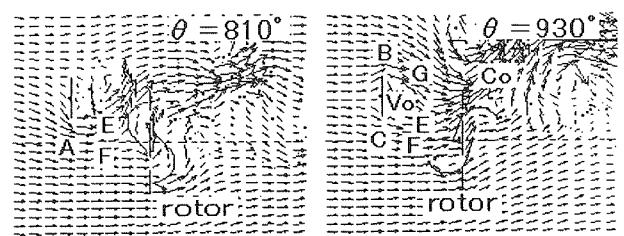


Fig.10 Velocity distribution $Lx=1.6$, $Ly=+0.5$, $HL=0.8$

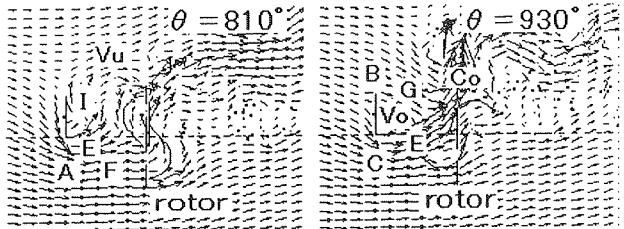


Fig.11 Velocity distribution $Lx=1.6$, $Ly=+0.0$, $HL=0.8$

記号 A と C の流れは、 Ly が高い(図9)と戻り羽根円弧部凸面側へ向けて流れる記号 E だけの流れとなるが、低い(図10)と記号 E と F の流れに分かれ、さらに低くなると記号 E の流れが減少し(図11)、非常に低い図8では記号 F だけの流れになる。

進み羽根円弧部凸面側に流入する流れは、 Ly が高いとほぼ横軸に平行に流れる流れ(図9)であるが、低くなると記号 F の流れが流入する(図10)。高さ Ly がさらに低くなると記号 F の流れは進み羽根円弧部凸面側へも向くようになるため流入が減り、 $Ly < 0$ の場合は、図8に示すようにほとんど流入しない。

Ly が低い図11の場合、記号 A の流れの一部は上側へ向けて流れる記号 I の流れ(記号 D の流れと逆方向)となる。このとき記号 V_u で示す流れの領域が現れ、回転羽根に押し出されるように上側へ膨らむ。この流れの膨らみにより、戻り羽根凸面側付近を流れる記号 E の流れは弱くなる。少し Ly

が高い図10では記号Eの強い流れがある。

記号Eと記号Gの流れは合流(記号Co)するが、合流位置はLyが高いほど下流側に移動する。図9では戻り羽根凸面側より高い位置にあり、図10では表面付近にある。

図9の右図の場合で示すように、Lyが高すぎると平板設置の効果をほとんど観察できない流れとなる。

平板の設置位置が低いと、記号Eの流れが弱まり、同時に進み羽根円弧部凹面側に流入する流れが減る。

5.2.3 平板の長さが短い場合

平板の長さが回転半径の半分の場合(HL=0.4)である。

HLが短くてもLyを高くすると記号Eの流れが現れ、上述の結果と類似した考察となるが、低いと進み羽根円弧部凹面側への流れの流入が困難になる。

記号Eの弱い流れが現れる程度の高さ(Ly=一定)に平板を設置し、設置位置Lxを変えて流れの特徴を示す。

図12は平板を回転羽根の近くに置いた場合、図13は離した場合、図14はさらに離した場合である。

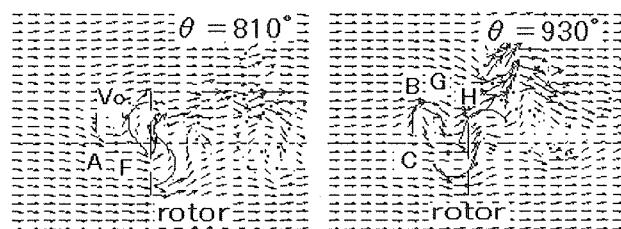


Fig.12 Velocity distribution Lx=1.1, Ly=+0.2, HL=0.4

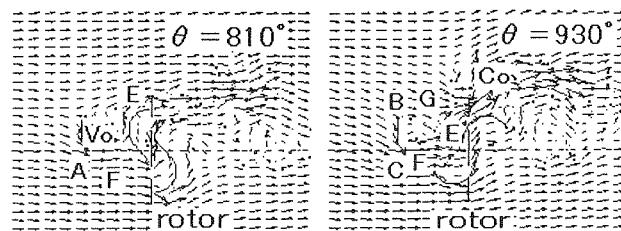


Fig.13 Velocity distribution Lx=1.4, Ly=+0.2, HL=0.4

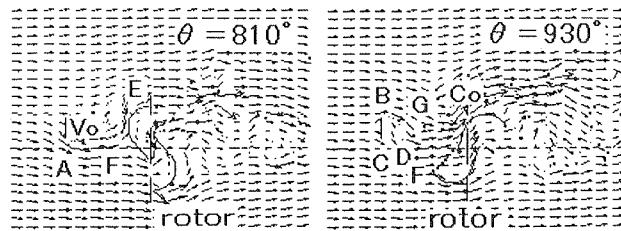


Fig.14 Velocity distribution Lx=1.7, Ly=+0.2, HL=0.4

記号Aの流れを見る。流路が狭い(図12)と渦Voの領域が戻り羽根円弧部付近まで達し記号Eの流れは殆ど現れないが、少し広がる(図13)と僅かな記号Eの流れが現れ、更に広がる(図14)と記号Eの流れが現れる(図10の場合のより弱い)。十分に広い図6の場合も記号Eの流れが現れる。

記号Fの流れは記号Aの流れより下側を流れる流れの影響を強く残す。流路が狭い(図12)と渦の外側を流れるため進み羽根円弧部凹面側へ向き、広くなる(図13、図14)と横軸に平行に流れ、そして進み羽根円弧部凹面側へ流入するが、十分に広い(図6)と移動する渦Voの外側を流れるから、記号Eの流れの影響を受ける。

記号Bの流れを見る。流路が狭い(図12)と、流路の流れが羽根の回転により押し出されるため、記号Bの流れの一部は戻り羽根上流側で横軸に達する程度の下向き流れとなり、広くなる(図13)と戻り羽根円弧部に向く記号Gの流れとなり、さらに広い(図14)と平板で発生するばく離領域が戻り羽根の十分上流側にあるため、戻り羽根上流側で横軸に達する下向きの流れとなる。十分に広くする(図6)と、下向き流れがさらに強くなる。

回転一周期中の大きな期間で記号Eの流れが現れるためには、平板が戻り羽根の上流側にあること、流路が狭すぎ・広すぎないことが必要である。

5.2.4 L形状の場合

鉛直辺(HL=0.8)と水平辺(HL=0.4)からなるL形状の場合を図15に、等辺L形(HL=0.8)の場合を図16に示す。等辺L形は帽子形で $\beta=0^\circ$ とした場合である。設置高さLyをほぼ図10の場合程度とした。

L形の場合は平板の場合より渦Voの領域が広くなるが、等辺L型になるとさらに広くなる。

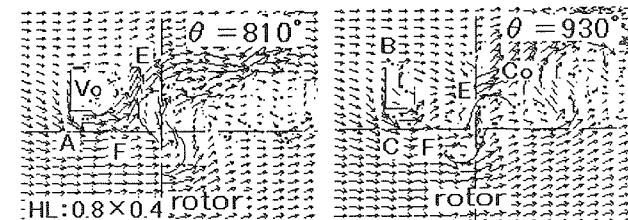


Fig.15 Velocity distribution Lx=1.4, Ly=+0.4

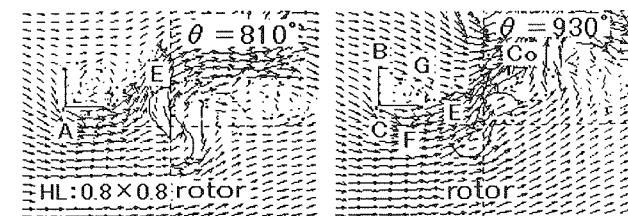


Fig.16 Velocity distribution Lx=1.4, Ly=+0.4

記号Aの流れは鉛直辺下端を回るように流れるから、L形の場合は平板(図10の左図)の場合と同じ流れとなる。等辺L形の場合は、水平辺が長いために、水平辺の右端付近で主流方向に平行に流れる。

記号Aの流れより下側を流れる流れは主流方向(水平辺)に平行に流れ、進み羽根円弧部凹面側へ流入する。

L形の場合である。回転角 $\theta=90^\circ$ 付近になると記号Bの流れが現れる。短い水平辺のためであるが、下側から上

側への流れの一部が水平辺でさえぎられる。このため、記号Bの流れの一部は図14に示した記号Dの流れとなる。

記号Cの流れの一部は記号Eの流れになるが、上記記号Dの流れの影響があつて、短い期間記号Eの流れが下向きに押され、そして回転角が $\theta = 930^\circ$ (右図)付近ではこの下向きの流れが流されるため、L形状の下流側の渦領域が広がったよう見える。

等辺L形になると、水平辺が長いためにはく離域も大きくなり、記号Bの流れに発生している記号Dの流れは記号Gの流れと区別できない程度の方向に流れるようになり、記号Eの流れを下側に押すことはなくなる。

5.2.5 帽子状の場合

等辺のL形状を比較的低い位置におき、位置(Lx, Ly)を基準にして角度 β だけ傾斜させた。縦軸方向の設置位置Lyが低い場合である。

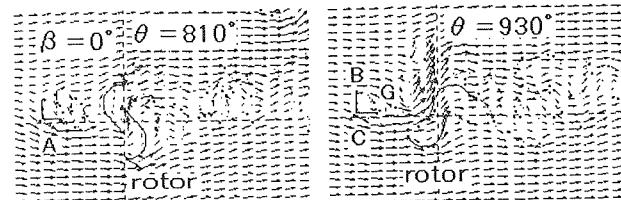


Fig.17 Velocity distribution Lx=1.4, Ly=+0.1, HL=0.4

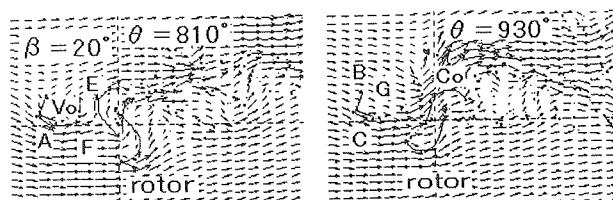


Fig.18 Velocity distribution Lx=1.4, Ly=+0.1, HL=0.4

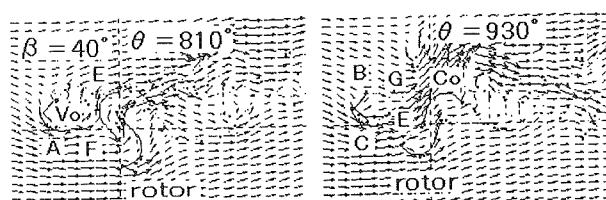


Fig.19 Velocity distribution Lx=1.4, Ly=+0.1, HL=0.4

図17は $\beta = 0^\circ$ の場合であり、図18は $\beta = 20^\circ$ の場合、図19は $\beta = 40^\circ$ の場合である。

記号Gの流れ並びに合流位置Coは、 $\beta = 0^\circ$ の場合は戻り羽根の上流側にあるが、傾斜角が増すにつれて下流側へ移動し、図19では戻り羽根上部付近に達する。

傾斜角が増すにつれて水平辺が傾斜するから、記号AとCの流れは斜め下向きに流れるようになる。

帽子形より下流側に発生している渦領域の外側では、記号Bより記号Cの流れが強く、記号Cの流れによる反時計周りに巻く渦巻きが発生する。すなわち傾斜角が増えるにつ

れて強まる記号Eの流れが現れる。

記号AとCの流れの一部は斜め下側へ向けて流れ、それから記号Eの流れとなるから、記号AとCの流れの方向変化は、帽子形の方が平板より大きい。

記号Cの流れが発生しているとき、進み羽根円弧部凹面側へ向いて流れる流れは、主に記号Fの流れである。記号Eの流れの下側を流れる流れは記号Eの流れの方向に強く影響するために、流れの方向変化が大きい帽子形の場合は、平板(図10)の場合より進み羽根円弧部凹面側への流入を妨げられる。

6.まとめ

偏風板が回転羽根付近の流れに与える影響を、偏風板の形状並びに設置位置を変更して調べた。

回転羽根の回転につれて偏風板下流側にできるはく離域は大きくなったり小さくなったりする。すなわち、偏風板の形状と設置位置を変えなければ、偏風板付近の流れは回転羽根の回転角によりほぼ決まる。

偏風板は戻り羽根の上流側に置かれるから、戻り羽根に風車抵抗が発生すると考えられる回転角付近になると、回転羽根上流側の流れの一部が戻り羽根方向へ向かって流れ、戻り羽根円弧部凸面側の近くを流れる流れの発生を観察できる。

偏風板の設置位置が低いと、進み羽根に流入する流れを妨げるような流れの発生があり、また、戻り羽根に衝突するような流れの発生がある。

偏風板の設置位置が高いと、戻り羽根円弧部凸面側の近くを流れる流れが強くなり得ないから、偏風板設置の効果がなくなるよう見える。

7.引用文献

- 1) A. Sabzevari: Performance Characteristics of Concentrator-Augmented Savonius Wind Rotors, Wind Engineering Vol.1, No.3, 1977(198-206)
- 2) 吳錫、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
- 3) 小川武範、吉田治夫:サボニウス風車に関する研究(第3報、ロータ端面板および偏流板の効果)、日本機械学会論文集(B編) 51-471(1985)3523-3529
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 山耕雅信、横溝利男、森田信義、わかる流体の力学、(1997)、日新出版、105-124、
- 7) 上野博之、三野正洋:サボニウス風車(巻きこみ流れを含まないはく離流れの影響)、太陽エネルギー27-1(2001)、70-76