

風車の羽根の受ける風圧

大亀 衛・渡辺 修・雨崎博文

岡山理科大学応用物理学科

(昭和57年9月24日 受理)

摘 要

プロペラ型風車の羽根（中心角の小さい扇形）の受ける風圧が計算して調べられた。（羽根の角速度の大きさ）（羽根の半径）／（風速）がある値のとき、板状羽根の受ける風圧が正の値になる羽根の傾きの範囲は限定されている。負の値の風圧は推進力である。傾きを変えることのできる板状羽根を使用することによって、風車の状態を保持することがすべての（羽根の角速度の大きさ）（羽根の半径）／（風速）の値に対して可能である。エネルギーを最も多く取り出すようにひねられた羽根の受ける風圧とその効率を最大にするようにひねられた羽根の受ける風圧は当然正の値であり、これらのひねられた羽根はこの状態に於て風車の機能を示す。ここで、空気の粘性と回転軸の垂線方向への羽根の後流の速度成分は無視されている。

1. はじめに

運動量理論¹⁾に始まり翼素理論²⁾をへて渦の理論³⁻⁶⁾へと発展している飛行機等のプロペラに関するこれらの理論は風車の羽根にも利用される。これらの理論を用いて、最近風車の羽根のひねりが主に数値計算して得られている⁷⁾。ここでは、風車の羽根の受ける風圧が求められる。

2. 風圧

a) 式と解

羽根の中心からの距離を r (図1), 羽根の半径を d , 羽根の中心角を δ , 羽根の回転軸に平行に流入している風速を v (図2), 羽根の単位面積あたりから空気の受ける力の大きさを f , 流入する空気の流れとこれに面している側の羽根の面に立てた法線とのなす角を α とする。更に、羽根の角速度の大きさを ω , 空気の密度を ρ で表わす。

羽根の受ける全圧力の大きさ k は

$$\left. \begin{aligned} k &= n\delta \int_0^d r f \cos(\pi - \alpha) dr, \\ f &= -2\rho \cos\alpha (v^2 \cos\alpha \cos 2\alpha + v\omega \sin 3\alpha r + \omega^2 \sin\alpha \sin 2\alpha r^2) \end{aligned} \right\} (1)$$

である。ここで、 n は羽根の枚数である。

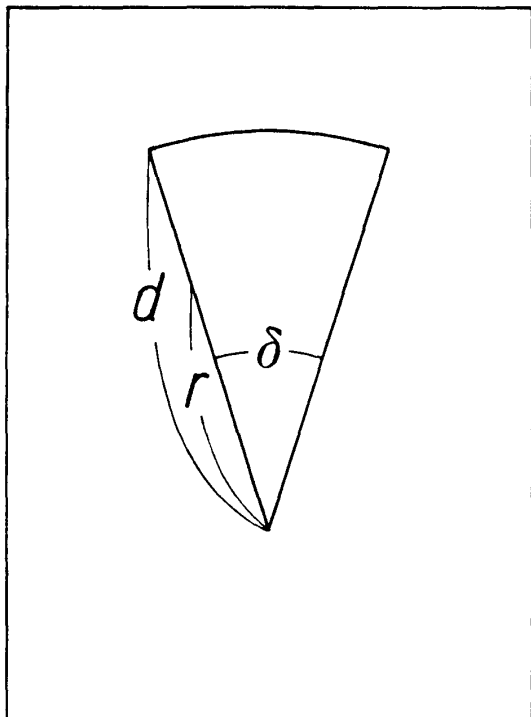


図1 板状羽根の形

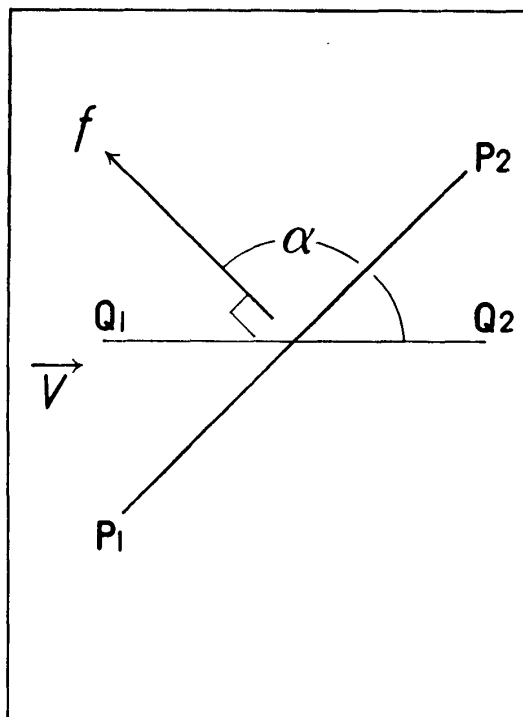


図2 板状羽根の位置

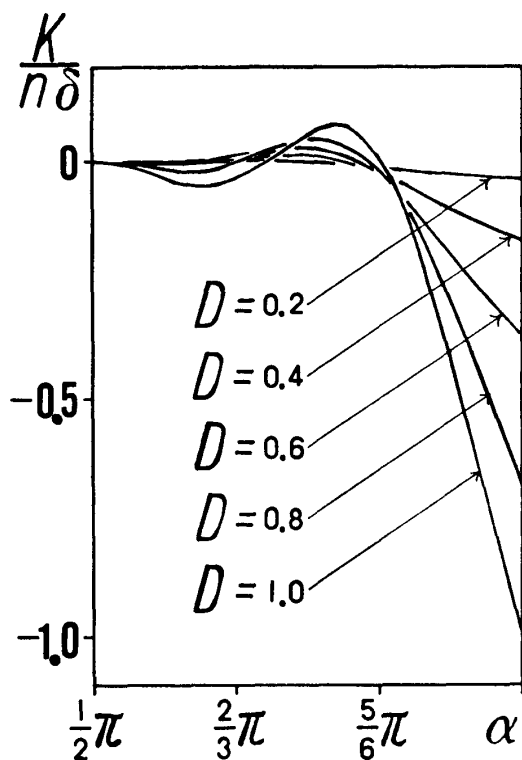


図3 板状羽根の受ける風圧(I)

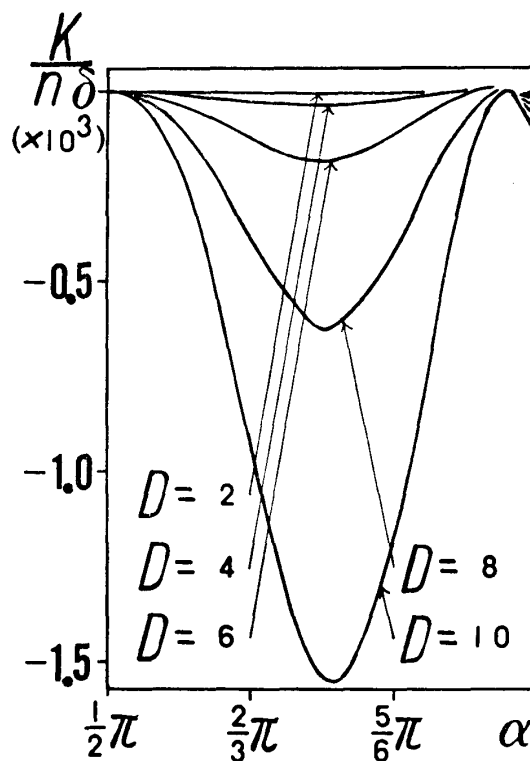


図4 板状羽根の受ける風圧(II)

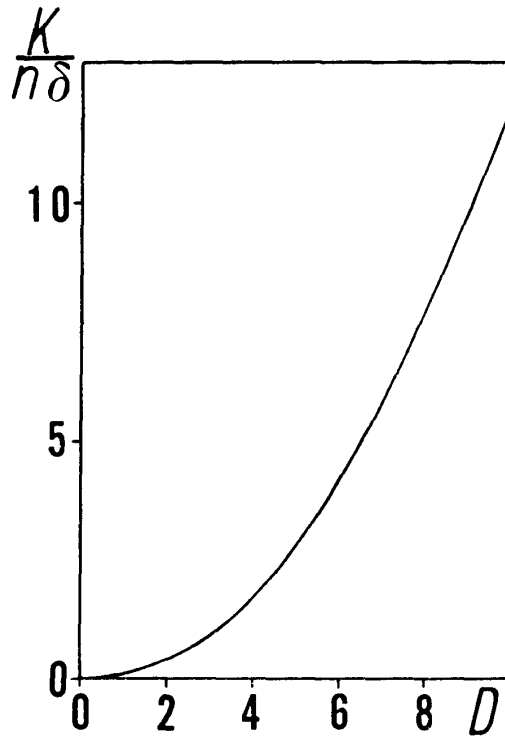


図5 ひねり (α_w) 羽根の受ける風圧

更に、無次元量

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{\omega^2 k}{v^4 \rho}, \\ R &= \frac{\omega r}{v}, \\ D &= \frac{\omega d}{v} \end{aligned} \right\} (2)$$

を導入する。

無次元量(2)を用いて式(1)を表わすと

$$K = 2n\delta \int_0^D \cos^2 \alpha (\cos \alpha \cos 2\alpha R + \sin 3\alpha R^2 + \sin \alpha \sin 2\alpha R^3) dR \quad (3)$$

が得られる。 $K/n\delta$ は α と D によって定まる。

b) 解のグラフ表示

図3～5は式(3)から数値計算して得られたものである。図5の α_w は最も多くエネルギーを取り出すようにひねられた羽根の α を表わす⁷⁾。

3. 考察

$K/n\delta > 0$ のときは風圧であり、 $K/n\delta < 0$ のときは推進力である。

a) 板状羽根

固定されている板状羽根 ($\alpha = \text{const.}$ の羽根) の受ける $K/n\delta$ はすべての D に対して正でない。従って、常に風車として機能する固定されている板状羽根をもつ風車はできな

い。(図3~4参照)

D が大きいほど、 $K/n\delta$ が正となる α の範囲(風車として機能する α の範囲)は狭い。この様子が図6に示されている。図中の α_B はこの範囲の幅を表わす。

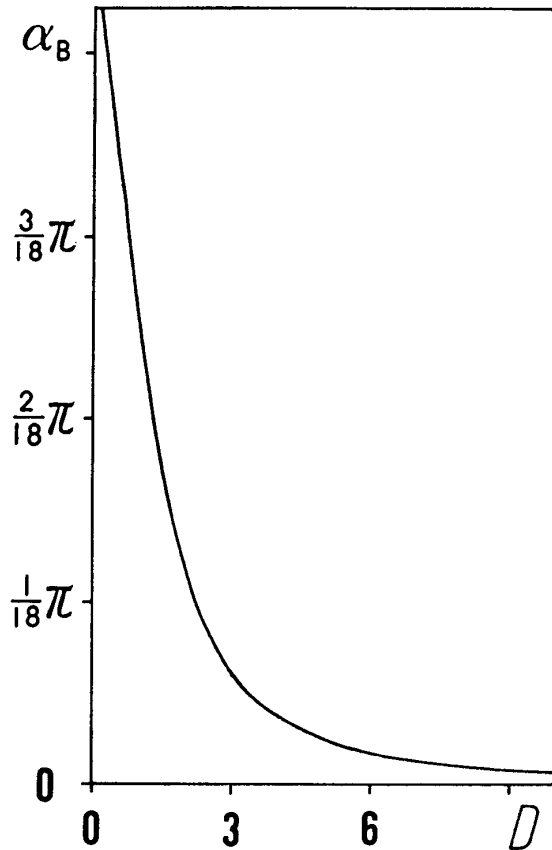


図6 風車として機能する α の範囲の幅(板状羽根)

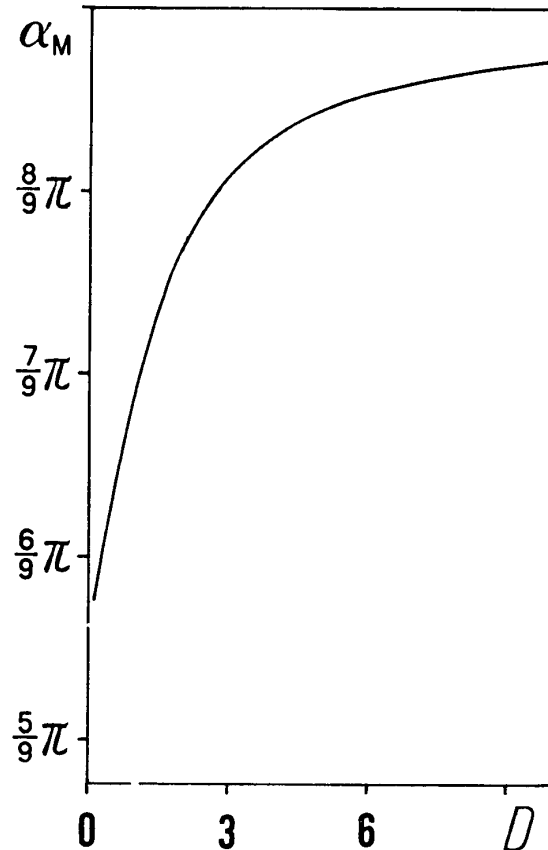


図7 風車として機能する α の範囲の中央の値(板状羽根)

D が大きいほど、 $K/n\delta$ が正となる α の値は大きい。この様子が図7に示されている。図中の α_M は $K/n\delta$ が正となる α の範囲の中央の値である。

α の変化に対して、 $K/n\delta$ は正の極値をもっている。 D が大きいほど、この極値は大きい。この様子が図8に示されている。図中の $(K/n\delta)_M$ はこの極値を表わす。

$K/n\delta$ は D の4次式である。式(3)より

$$\frac{K}{n\delta} = \frac{1}{6} \cos^2 \alpha (6 \cos \alpha \cos 2\alpha + 4 \sin 3\alpha D + 3 \sin \alpha \sin 2\alpha D^2) D^2$$

を得る。

b) ひねり羽根

ひねり(α_w)羽根の受ける $K/n\delta$ は常に正である。そして、この値は D の増加によって急激に増大する。(図5参照)

ひねり(α_H)羽根の受ける $K/n\delta$ は常に正であり、 D の増加による変化の様子はひねり(α_w)羽根と類似している。ここで、 α_H は羽根の取り出すエネルギーの効率が最も大き

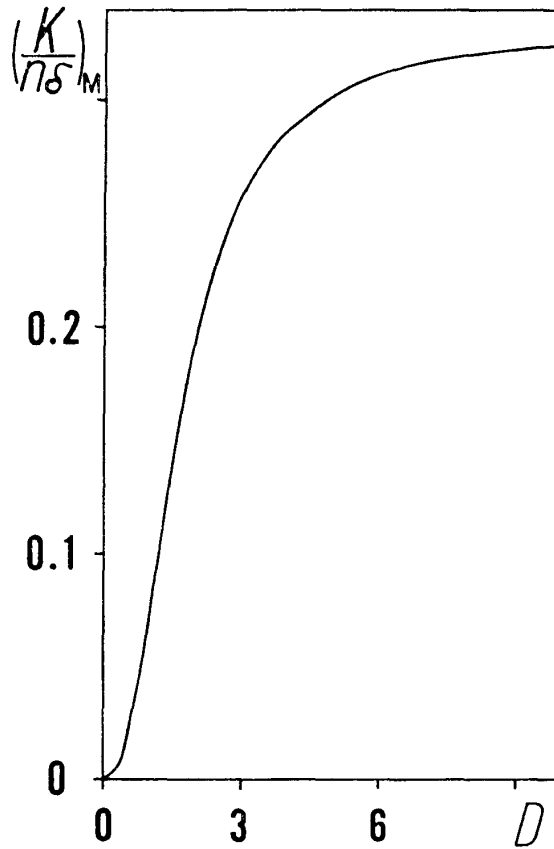


図8 風圧の最大値(板状羽根)

くなるようにひねられた羽根の α を表わす⁷⁾.

ひねり (α_H) 羽根の受ける $K/n\delta$ はひねり (α_W) 羽根の受けるそれよりも小さい。

4. むすび

空気の粘性を考慮した計算, 回転軸の垂線方向への羽根の後流の速度成分を考慮した計算, 中心角の大きい羽根に関する計算, 更に扇形でないより合理的な羽根の形を求める計算等が次の問題として残されている。

参考文献

- 1) W. J. M. Rankine: Trans. Inst. Naval Architects **6** (1865) 13
- 2) W. Froude: Trans. Inst. Naval Architects **19** (1878) 47
- 3) S. Goldstein: Proc. Roy. Soc. **A 123** (1929) 440
- 4) T. Moriya: J. Fac. Engineering Tokyo Imp. Univ. **20** (1933) 147
- 5) S. Kawada: Rep. Aero. Res. Inst. Tokyo Imp. Univ. **172** (1939)
- 6) K. Kondo: Memo. Fac. Engineering Kyushu Imp. Univ. **4** (1942)
- 7) 大亀 衛・久保 宏・岸上 剛: 岡山理科大学紀要 第17号 **A** (1981) 35

Wind Pressure Acting on the Blades of a Wind Turbine

Mamoru OHKAME, Osamu WATANABE
and Hirobumi AMAZAKI

*Department of Applied Physics, Okayama University of Science
Ridaicho 1-1, Okayama 700, JAPAN*

(Received September 24, 1982)

The wind pressure acting on the semi-circular blades of the propeller type wind turbine, the central angle of the blades being small, is investigated by means of analytical and numerical calculations.

In the case in which (the angular velocity of the blade) (the radius of the blade)/(wind speed) has a value, the range of the gradient of the plate blade, where the wind pressure is plus, is restricted. The wind pressure of which the value is minus is the thrust. By using the wind turbine whose blade gradient can be changed, it is possible to keep the state of the wind turbine for the all values of (the angular velocity of the blade) (the radius of the blade)/(wind speed).

In the case in which the blade of the wind turbine is twisted to take out the most energy or to give the maximum value of the efficiency, the wind pressure acting on the blades is naturally plus and these twisted blades show the state of the wind turbine in this condition.

The viscosity of the air and the velocity component of the wake in the direction perpendicular to the axis of the rotation of the blades are neglected in this paper.