第4図に示すように元の翼型とよく一致する。

4. 結 論

以上円形翼列について翼面圧力分布を与えて翼型を求める方法について述べた。反動型水車の案内羽根の設計の際に翼型は十分薄く そりも対数うず線と大差がないような場合には比較的簡単な計算によつて設計

目的に一致する翼型を得ることができる。

終りに本研究は文部省科学研究費による研究の一部であることを附記してここに謝意を表する次第である。

注:—

- (1) 昭和 27 年 3 月 29 日 関西支部総会講演会において講演。
原稿受付 昭和 27 年 5 月 27 日。
- (2) 正員, 京都大学。
- (3) 神元: 本論文集 1 ページ。

621.22.015 : 532.582.4

円形翼列の実験結果について⁽¹⁾

神 元 五 郎⁽²⁾

On the Experimental Results of Circular Wing Lattice

by Gorō KAMIMOTO

This paper contains the experimental results of a model of circular wing lattice, the construction of which is similar that of to the guide vanes of the reaction type water turbine.

The measurement of the pressure distribution along the guide vanes surface and of the flow inside of the lattice was performed under the various setting angles 0° , 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70° and number of vanes 12, 6, 3.

The results are compared with the theoretical ones calculated by "Theory of Circular Wing Lattice composed of Thin Aerofoil with Arbitrary Shape".

摘 要

円形翼列の実験については二三の実験⁽³⁾⁽⁴⁾が行われているが、ここでは風洞実験によつて反動型水車の案内羽根の模型内の流れを測定した。模型は厚比 16 % の対称翼よりなる円形翼列であつて、流れの状態を 2 次元流れに近くするようにした。翼の取付角を変化させて種々の翼列条件の下に翼面圧力分布を測定し、ことに円形翼列内部に生じた循環の大きさを測定した。かくして求められた実験結果と理論計算⁽⁵⁾⁽⁶⁾による結果とを比較した。

1. 実験装置

実験装置全体は第1図に示し、模型測定部の詳細は第2図に示される。第1図において電動機 M に直結された軸流送風機 F (毎分 600~2 340 回転, 風量毎

第 1 図

第 2 図

分 120 m^3 , 圧力 $80 \text{ mm H}_2\text{O}$, 5 HP) によつて測定部 A より空気は吸込まれ、拡がり管 D を通つて管 C_1 , C_2 によつて流量測定ノズル N から再び大気に放出される。送風機 F の後方には整流格子 S があつて、ノズル N への流れの旋回分速度をなくするようになっている。第2図の円形翼列測定部には弦長 150 mm の翼型 B および B' が円形の側板 F , F の間に適当なピッチでとりつけられている。各翼は軸 C の周りに回転し、その取付角を変えることができる。その中翼 B' はその翼幅が大きく、円板 E をつらぬいてその一方の翼端から翼面圧力分布を測定する細管が出ている。円形翼列の翼列条件は翼の取付角と翼の数と

第 1 表

α	0	125	25	50	75	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
y_0	0	263	369	498	584	648	728	778	818	800	744	665	543	363	185	0

を種々変えることに与えることができる。

翼型の模型は木製であつて、その面および流路の壁面は正確にかつきわめてなめらかに仕上げてある。実験に用いられた翼型は第1表および第3図に示すような対称翼であつて、弦長 150 mm で翼幅は 125 mm である。翼面圧力分布を測定する翼型 B' のみは翼幅

第 3 図

が 250 mm でその中央の銅板に 16 個の圧力分布測定孔があけられて、それより細い銅管が翼型の内部を通つて翼端にとり出されている。その測定孔の位置は第2表および第3図に示されている。

第 2 表

NO	1	2, 16	3, 15	4, 14	5, 13	6, 12	7, 11	8, 10	9
α	90	80	65	50	35	20	10	5	0

なお流量測定用ノズル N は通路 C_2 の末端部 (径 400 mm) に第4図のごとく取り付けられ、その出口径は 300 mm に絞つてある。その出口には上下左右に動き得るごとくピトー管 P がとりつけられて、ノズル出口の速度分布を測定することができる。

第 4 図

2. 実験方法

以上述べた実験装置を用いて円形翼列実験を行った。翼列条件として翼数 N 、翼取付角 β^* を次のごとく選んだ。

$N=12, 6, 4, 3$

$\beta^*=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$

$40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$

ここに β^* は第5図に示すように翼弦と半径方向とのなす角であつて、円形翼列理論⁽⁵⁾⁽⁶⁾で述べた翼列条件を表わす諸元

τ, ν との関係は第3表に示すようである。この取付

第 5 図

角は側板 F にけがきされた線に合せるかまたは治具によつて正しく決めることができる。

かくして送風機 F の回転数

第 3 表

β^*	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
注(5)の方法による τ	0	-0.1309	-0.2476	-0.3564	-0.4407	-0.5284	-0.5760	-0.6021
ν	-0.6930	-0.6729	-0.6377	-0.5643	-0.4822	-0.3645	-0.2667	-0.1708
注(6)の方法による τ	0	-0.1367	-0.2531	-0.3650	-0.4524	-0.5250	-0.5733	-0.6006
ν	-0.6930	-0.6753	-0.6298	-0.5600	-0.4763	-0.3827	-0.2832	-0.1831

を調節して流量 Q を加減して次のごとく翼面圧力分布および循環の測定が行われた。

翼面圧力分布は翼型 B' の翼幅中央に $0.5 \text{ mm} \phi$ の小穴によつて測定され、流れが円形翼列中心軸に垂直な平面内で二次元的であるか否かはこの測定孔の位置を翼幅方向に移動させてそのおのおのの位置における圧力分布が側板の近くまで変化しないことによつて確かめられている。この圧力分布は傾斜型多管マノメータに導かれて読みとられた。

循環の大きさは円筒部 D_1 の側面に円筒型ピトー管を第6図のごとく挿入して円筒部内の流れの動圧静圧

第 6 図

およびその方向を測定することによつて求まる。この円筒型ピトー管は直線翼列実験⁽⁷⁾に用いたものであつて、その特性はよく知られている。第6図の示すように円筒型ピトー管 P は座標測定器 O の支持台 H に正しく水平にとりつけられ、ピトー管の測定孔の位置は座標測定器 O の尺度上にあらわれる。かくして半径方向の各位置で流れの方向、静圧、動圧を測定し、その旋回分速度より循環の大きさを求め、また軸方向分速度の分布は次の流量測定の結果と一致するか否かを確かめるに用いられた。

次に流量の測定は第4図に示すノズル N によつて測定された。あらかじめ標準型ピトー管 P によつてノズル出口の速度分布がその中心軸を通る垂直水平の二方向に計測され、この速度分布を積分することによつて流量を測定し、一方ノズル入口の圧力をマノメータで読み、その両者の関係を予め検定した。すなわち

$$\text{ノズル入口面積} \quad F_0 = 0.125 \text{ m}^2$$

ノズル出口面積 $F_1 = 0.0708 \text{ m}^2$

ノズル入口圧力 Δp mm 水柱

流量係数 α

とすると、流量 Q は次のごとく得られた。

$$Q = \frac{\alpha F_1}{\sqrt{1 - (F_1/F_0)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} = 0.0797 \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \text{ m}^3/\text{s}$$

かくして流量はノズル入口の圧力の読みで知ることができる。

なお円形翼列実験を行う前に翼型の単独翼実験を小形風洞で行って、翼面圧力分布測定孔の読みを確かめた。

3. 翼面圧力分布

翼面圧力分布の実験結果を円形翼列理論による計算結果と比較するために二次元流れにおける円形翼列の周りの流れの実験結果が望ましい。したがって前節に述べたごとく測定翼をその翼幅方向に移動させて翼幅方向の翼面圧力分布の変化を測定して、側板のごく近くを除いてその変化がほとんどないことを確かめた。

かくして種々の翼列条件の下に翼型 B' の圧力分布測定孔を両側板の中央においてその翼面圧力分布を測定した。実験の結果を第7図に示している。横軸には

第 7 図 (1)

第 7 図 (2)

第 8 図

翼弦上の測定点の位置をとり、縦軸には無次元の圧力係数をとっている。すなわち第8図に示すごとく側板入口中央に小形ピトー管をとりつけてそれによって測定された流れの速度、静圧より円形翼列の最外周における静圧 p_r および速度 v_r を求めて、圧力係数 $(p - p_r) / \frac{1}{2} \rho v_r^2$ の形で表わしている。

いま小形ピトー管をとりつけた位置を中心軸より半径 R_0 とし、その速度を v_0 とする。円形翼列の最外周 (半径 R) における静圧および速度を p_r , v_r とし、大気圧を p_a とすると、ベルヌーイ式より

$$p_a = p_r + \frac{1}{2} \rho v_r^2$$

よつて

$$\frac{p - p_r}{\frac{1}{2} \rho v_r^2} = 1 + \frac{p - p_a}{\frac{1}{2} \rho v_r^2}$$

しかるに $v_r = Q / 2\pi R \cdot b$

であるから

$$\frac{p - p_r}{\frac{1}{2} \rho v_r^2} = 1 + \frac{p - p_a}{\frac{1}{2} \rho v_0^2} \left(\frac{R}{R_0} \right)^2$$

によつて翼面圧力分布が求まる。ここにこの装置では R/R_0 の値は第4表のごとくであり、翼幅 $b = 125 \text{ mm}$ は実際の軸流水車における寸法である。翼面圧力分布の実験結果は第7図に示す。その中

第 4 表

β^*	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
R_0/k	1.10	1.10	1.10	1.13	1.15	1.17	1.20	1.24
$(R_0/k)^2$	1.21	1.21	1.23	1.28	1.32	1.37	1.44	1.54

$\beta^*=20^\circ$ の場合は薄翼理論による計算値と比較している。

4. 円形翼列内の循環の大きさ

以上の翼列条件の下に翼面圧力分布を測定すると共に円形翼列内に生じた循環の大きさを円筒部 D_1 の所で測定した。この循環をもつ軸方向の流れを知ることにはこの流れの中で働く羽根車に対する流れを決めることになりはなはだ重要なことである。

この循環の大きさは上述の実験方法に示したごとく円筒型ピトー管によって流れの軸方向分速度 v_a および接線方向分速度 v_t の分布を求め、なお同時に測定した流量 Q を用いて、以上の分布をそれぞれ次のように無次元の形で表わした。すなわち

$$\begin{aligned} \text{円筒部直径} & D_1 \\ \text{軸方向平均速度} & v_m = Q / \frac{\pi}{4} D_1^2 \\ \text{円筒部内の循環} & \Gamma_2 = 2\pi r v_t \\ \text{二次元流れの場合の流量} & Q_1 = Q/b \end{aligned}$$

とすると、

$$\begin{aligned} \text{軸方向速度分布} & v_a/v_m \\ \text{循環分布} & \Gamma_2/Q_1 = 2\pi r b v_t / Q \end{aligned}$$

と表わされる。

実験の結果軸方向速度分布 v_a/v_m は第 9 図に示すこ

第 9 図

第 10 図

とく円形翼列の取付角 β^* が大きくなるに従って中心部に逆流部を生じ、またその逆流部の範囲も大きくなる。水車の案内羽根の設計条件に近い取付角では軸流方向速度分布はほぼ一様と見てよい。これに伴って循環の分布も第 10 図に示すごとく変化する。翼の取付角の小さい間は循環の分布は一様であつて、角度の大きくなるに従い分布は半径方向に一様でなくなり、外周部が極端に大きい循環を持つようになる。これは循環の大きさが大きくなるほど中心部の旋回分速度が大きくなり、流体の粘性によるうずの拡散が起るためであつて、粘性流体中のうずの拡散の経過を表わすものと見てよい。循環の分布には理論計算による結果を記入しているが、翼取付角の小さい間はよく一致する。なお前者の軸方向速度分布を積分して求めた流量はノズルによる流量の測定値とよく一致している。

実際の軸流水車では第 11 図のごとく中心部にボス

第 11 図

第 12 図

があるので、図のように実際の軸流水車と同一の寸法割合の模型を用いて実験を行った。この場合ボスの存在のため中心部の逆流は大きい翼取付角の場合にボスの周囲に起っている。したがって循環の分布もそのような大きい取付角を除いてほぼ一様に近くなっている。第 12 図は軸方向速度分布を、第 13 図は循環の分布をそれぞれ示している。ことに後者の循環一様な

第 13 図

部分の循環の大きさはボスのない場合とほとんど変化はない。

以上の結果から翼取付角の変化に対する循環の変化を示すと、第 14 図のごとくなる。横軸に翼取付角 β^* をとり、縦軸に循環分布一様な部分の循環の大きさをとり、理論計算による結果と比較してある。また翼数 N を変えて以上の実験を行った。その中翼数 $N=6, 4, 3$ の場合の循環の変化を示すと、第 15 図のごとく

第 14 図

第 15 図

なる。横軸に翼数 N をとり、縦軸に循環一様な部分のその大きさをとって、理論計算の結果と比較した。厚みのない平板よりなる円形翼列に対する近似計算⁽⁸⁾の結果を比較のために点線で示してある。

5. 結 論

以上反動型水車の案内羽根を通る流れについて模型実験を行い、翼面圧力分布および円形翼列内の流れを測定して、著者の理論計算の結果と比較し、その結果がよく一致することを確認すると共に案内羽根を流れる流れの定量的な測定値を明らかにした。ことに円形翼列内の流れの研究は水車の羽根車の設計において重要な事項であつて、今後更に実験を進めて行かねばならない。

終りに本研究は文部省科学研究費による研究の一部であり、また装置の製作には大塚記念奨学会の援助によるものであることを附記してここに謝意を表わす。

注:—

- (1) 昭和 25 年 11 月 14 日 関西連合工学会日本機械学会講演会において講演, 原稿受付 昭和 27 年 5 月 27 日。
- (2) 正員, 京都大学。
- (3) E. Bauer: Kräftermessung an einem Kreisgitter aus Zylindrischen Schauteln bei radialer Zuströmung. Mitt. des Inst für Strömungsmaschinen der Technischen Hochschule Karlsruhe, 1930, Heft 1.
- (4) F. Numachi und I. Masuko: Versuche über Flügelprofile bei Kreisgitterordnung. Ing. Arch. Bd. 4, S. 470. 1933
- (5) 神元: 機械学会論文集, 17 卷 60 号, 51 ページ (昭 26)。
- (6) 神元: 本論文集 1 ページ。
- (7) 神元: 機械学会論文集, 17 卷 58 号, 41 ページ (昭 26)。
- (8) 藤本, 乗木, 林: 機械学会論文集, 7 卷 28 号, 第 3 部, (昭 16)。

621.224.015—154: 532.542

増速翼列に適する翼型の研究

(第2報) 好適な翼型の翼列実験⁽¹⁾

安 陪 俊 一⁽²⁾

Research on Hydrofoil Profiles Suitable for a Straight Lattice of Accelerated Flow (Report 2)

by Shun-ichi ABE

The wind tunnel tests have been carried out on the profile specially designed by our theoretical method described in Report 1, and arranged in the lattice condition of pitch-chord ratio $t/l=1.0$ and lattice angle $\theta_1=150^\circ$ so as to examine the reliability of the theoretical method. The polar diagram of our profile seems to be slightly superior to that of Clark Y, and besides, the pressure center of the former is almost immovable throughout the range of $C_a=0.3\sim 1.5$. Further, the surface pressure distribution of the profile at the aimed lift coefficient has been proved to coincide, as it was expected, fairly well with the prescribed theoretical one.

1. 緒 言

軸流機械の羽根断面に対して、翼列に適する翼型を採用すべきことは、さきに沼知教授が提唱しておられるが⁽³⁾, 沼知教授の研究は主として減速翼列を対象に進展し、水車の翼列すなわち増速翼列に関しては具体的研究がないようである。また一方において内外の文献に翼列実験の成果を散見するが、増速翼列に関する信頼すべき実験成果は乏しいように思う。

著者は第1報⁽⁴⁾において、軸流水車の羽根断面として好適な翼型を探索する目的で、(i) 翼列中で好適な圧力分布を持ち、(ii) 圧力中心の移動の比較的小くない翼型、を理論的に算出する方法を述べた。本報

は第1報で求めた適列翼型の性能を翼列風どうにより測定し、第1報の実験的裏づけを行つたものである。

実験の結果は著者の翼列理論による計算値に比較的良好一致し(このことは軸流水車に使用される程度のそもも厚みも比較的小さい翼型の翼列に対しては、著者の翼列理論が適用できることを示しているものと考え)、かつ理論的に算出した翼型の性能は優秀で、カプラン水車の羽根断面として好適な翼型を探索しようとする本論文の構想は、その妥当性が一応実証されている。

2. 実験理論および実験装置

実験装置は高速力学研究所の翼列風どう⁽⁶⁾に新たに