

# 周期変動流中の翼面圧力分布に関する研究

## —第1報 実 験—

Pressure Distributions Around an Airfoil in Periodically Fluctuating Air Flows

—1st Report, An Experimental Study—

吉 識 晴 夫\*・高 間 信 行\*

Haruo YOSHIKI and Nobuyuki TAKAMA

### 1. ま え が き

現在盛んに使用されるようになった車両用ターボ過給機の排気タービンでは、エンジンからの脈動排気でタービンが駆動されるため、タービン性能は定常流特性とは異なる。タービンの非定常特性を明らかにするためには、非定常翼列についての研究が必要となる。この場合の翼列に流入する流れは入射角の変動と流速の変動の両方が考えられる。一定流速中で迎え角の変動する研究は、従来から行われているが、<sup>1)</sup>一定迎え角で流速が変動する場合の研究は少ない。<sup>2)</sup>ここでは、翼列での実験の前段階として、流速が正弦的に一樣に変動する場に置かれた単独翼の翼面圧力分布を、翼面から流れがはく離しない状態に限定して、翼中に埋め込んだ拡散形半導体小形圧力変換器により測定した結果について報告する。

### 2. 実験装置と実験方法

実験装置の概要を図1に示す。実験に用いた吹き出し風洞の測定部は1 m×0.3 m、最大断面は2.5 m×2.5 m、最大流速は約30 m/s、乱れ度は0.3%以下、非一樣性は、壁付近を除いて約0.1%以下である。風洞入口に設けられた非定常流発生装置（6枚のバタフライ弁）に

より周期的変動流を発生させる。変動流の場合にも流速は空間的に一樣とみなせる。図2は測定部、図3は測定翼(NACA 65 A 010)を示す。測定部の点Aには熱線流速計、点Bには標準ピトー管、点Cには拡散形半導体小形圧力変換器を取り付ける。測定翼は、吹き出し口中心に取り付けてあり、1/4弦点まわりに設定角(迎え角 $\alpha$ )を変えられる。翼の両面に5点づつ圧力測定孔を設け、図3に示すように拡散形半導体小形圧力変換器を翼内側に貼付した。翼弦長 $c$ は150 mm、翼幅は297 mmで黄銅製の翼である。実験は定常流の場合、ファン回転数を一定に保ち、バタフライ弁を開放の状態に固定して行い、周期変動流の場合は、ファン回転数を一定として6枚のバタフライ弁を同位相に回転させて行った。迎え角 $\alpha$ は、翼の回転軸に取り付けた電気抵抗により設定し、各回転数ごとの迎え角 $\alpha$ を $0^\circ, 5^\circ, 7^\circ$ とした。流速はピトー管で校正した熱線流速計で測定した。圧力、流速の測定データは全てカセットレコーダに記録し、AD変換した後計算機処理を行った。

### 3. 実験結果と考察

#### (1) 整理方法と実験条件

測定データは、圧力、流速ともに高周波の乱れを含ん

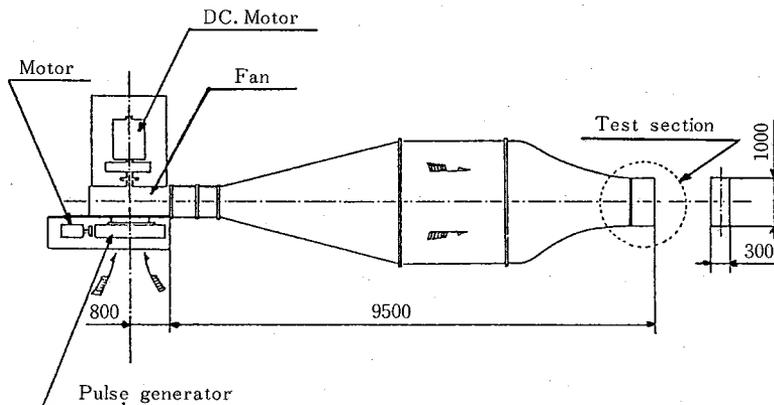


図1 実験装置概要

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

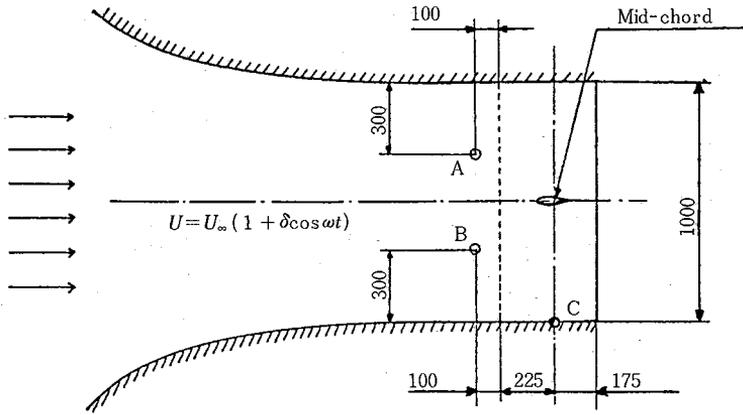


図2 測定部

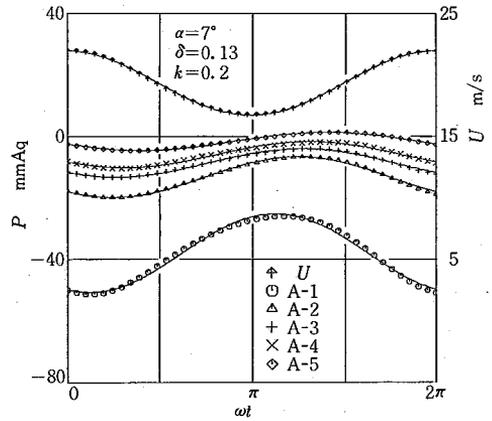
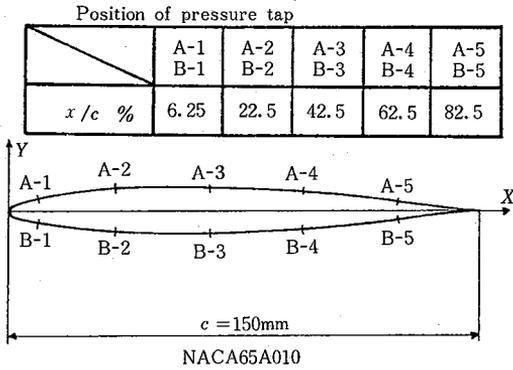


図4 測定波形

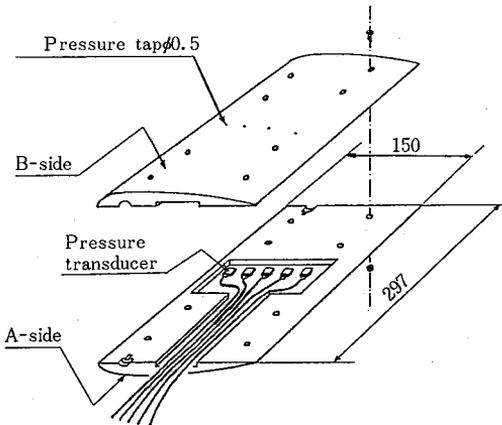


図3 測定翼

ているため、フーリエ変換により 20 Hz 以上の成分を除いた。実験の基本周波数は最大約 8.4 Hz なので上記の操作を行うことは妥当である。ここで測定波形の一例を図 4 に示す。縦軸はゲージ圧 (水柱 mm) と流速 (m/s)、横軸は時間を表す位相角 (ラジアン) で流速が最大となる時を時刻 0 とした。記号は各測定点での 20 Hz 以上を

カットした波形、実際はその基本周波数成分と時間平均値で近似した波形であり、両者はよく一致している。ここで  $U_\infty$  を一様変動流の時間平均流速、 $\Delta U$  を変動流速の基本周波数成分の大きさ、 $\omega$  を変動流の基本周波数の角速度 ( $=2\pi f$ )、 $t$  を時刻とすると流速  $U$  と圧力  $P$  は

$$U = U_\infty + \Delta U \cos \omega t \quad (1)$$

$$P = \bar{P} + |\Delta P_1| \cos(\omega t - \theta) \quad (2)$$

と近似的に表せる。ここに  $\bar{P}$  は時間平均圧力、 $\Delta P_1$  は圧力変動の基本周波数成分、 $\theta$  は  $U$  に対する  $\Delta P_1$  の位相遅れである。ここで

$$\delta = \Delta u / U_\infty \quad (3)$$

$$k = \omega b / U_\infty \quad (4)$$

$$C_p = (P - P_a) / (\frac{1}{2} \rho U_\infty^2) \quad (5)$$

$$\bar{C}_p = (\bar{P} - P_a) / (\frac{1}{2} \rho U_\infty^2) \quad (6)$$

の無次元化を行う。ただし、 $b$  は翼の半弦長 ( $=c/2$ )、 $P_a$  は大気圧、 $\rho$  は密度、 $C_p$  は圧力係数、 $\bar{C}_p$  は圧力係数

研究速報  
の時間平均値である。また、

$$\Delta C_{P1} = \Delta P_1 / (\frac{1}{2} \rho U_\infty^2) \quad (7)$$

とすると、

$$C_P = \bar{C}_P + \Delta C_{P1} = \bar{C}_P + |\Delta C_{P1}| \cos(\omega t - \theta) \quad (8)$$

と表される。

実験条件は、平均流速  $U_\infty$  と翼弦長  $c$  による  $Re$  数が  $5.7 \times 10^4 \sim 2.2 \times 10^5$ 、迎え角  $\alpha$  が  $0^\circ, 5^\circ, 7^\circ$ 、変動周波数  $f$  が  $6.6 \text{ Hz} \sim 8.4 \text{ Hz}$ 、無次元振動数  $k$  が  $0.17 \sim 0.53$ 、変動振幅比  $\delta$  が  $0.09 \sim 0.23$  である。ファン回転数 (rpm) とバタフライ回転数 (rpm) の組み合わせで示すと、 $300-200$  ( $\odot$ )、 $300-250$  ( $\Delta$ )、 $500-250$  ( $+$ )、 $750-200$  ( $\times$ )、

表1 実験条件(概略値)

Symbol	$\odot$	$+$	$\Delta$	$\times$	$\diamond$	$\blacktriangle$
$k$	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2
$\delta$	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1

$1000-250$  ( $\diamond$ )、 $1250-250$  ( $\blacktriangle$ ) となる。これらをまとめると表1となり、表中の記号は、図5~図7に使用したものである。

(2) 時間平均圧力分布

図5に圧力係数の時間平均値  $\bar{C}_P$  の分布を示す。横軸は前縁からの距離  $x$  を翼弦長  $c$  で無次元化した座標である。図の(a)は  $\alpha=0^\circ$ 、(b)は  $\alpha=5^\circ$ 、(c)は  $\alpha=7^\circ$  で、記号は表1で示した実験条件の値を示す。(a)(b)(c)に示したように  $\bar{C}_P$  は無次元振動数  $k$ 、流速の変動振幅比  $\delta$  に関係なく迎え角  $\alpha$  のみによることが分かる。前縁付近のバラツキは流れの不安定さが原因しているものと考えられる。図示しなかったが、 $\bar{C}_P$  の分布は定常流の場合の  $C_P$  の分布にほぼ等しいことが分かった。

(3) 圧力係数の振幅

基本周波数成分の圧力振幅  $|\Delta C_{P1}|$  を流速の変動振幅比  $\delta$  で割った値の分布を図6に示す。(a)は  $\alpha=0^\circ$ 、(b)は  $\alpha=7^\circ$  の圧力側、(c)は  $\alpha=7^\circ$  の吸込側で、記号は表

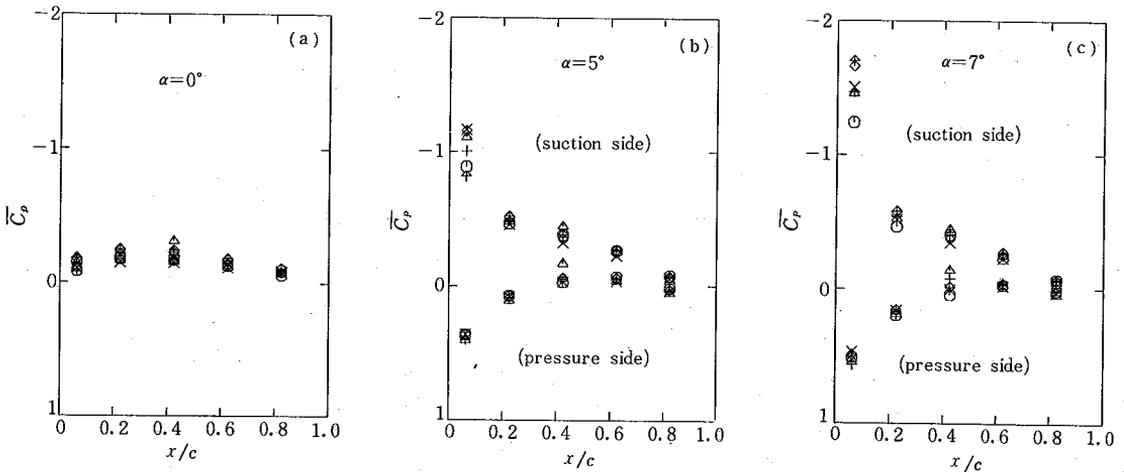


図5 時間平均圧力分布(a)  $\alpha=0^\circ$  (b)  $\alpha=5^\circ$  (c)  $\alpha=7^\circ$

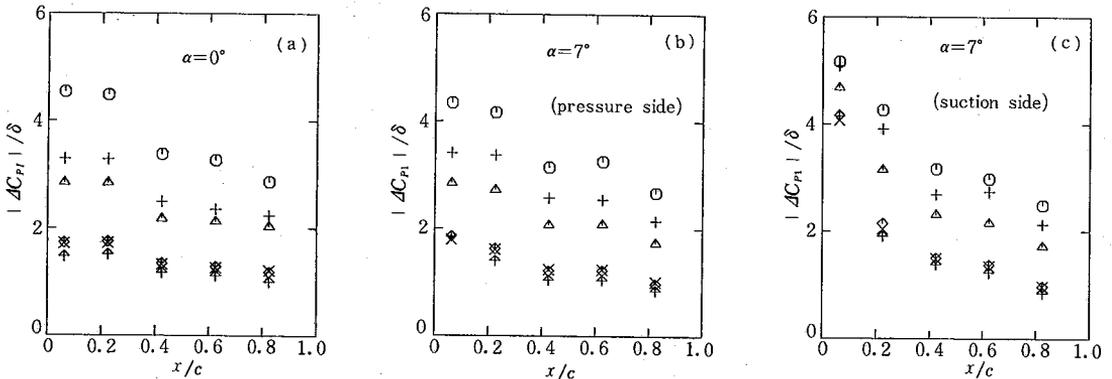


図6 圧力振幅分布(a)  $\alpha=0^\circ$  (b)  $\alpha=7^\circ$  (圧力側) (c)  $\alpha=7^\circ$  (吸込側)

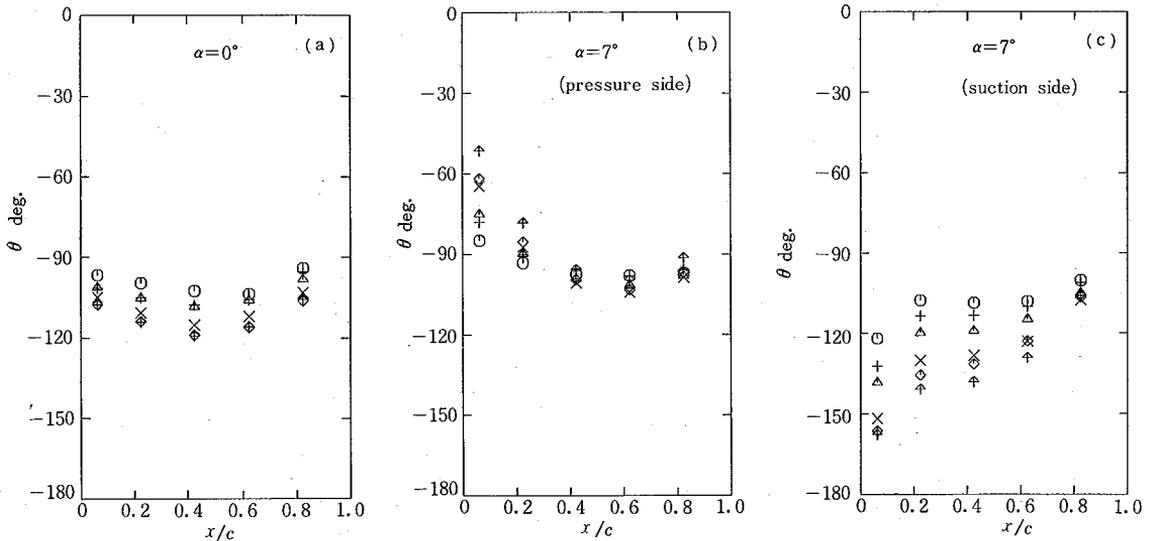


図7 位相差分布 (a)  $\alpha=0^\circ$  (b)  $\alpha=7^\circ$  (圧力側) (c)  $\alpha=7^\circ$  (吸込側)

1の実験条件の値を示す。圧力振幅は、圧力側、吸込側とも無次元振動数  $k$  が大きくなるにつれて大きくなる。また、後縁より前縁の方が大きくなる。圧力側では迎え角による影響は比較的少ない。吸込側では、迎え角の増大とともに前縁付近の圧力振幅が急激に増大する。

(4) 圧力変動の流速変動に対する位相差

圧力変動分を基本周波数成分のみで考え、その圧力変動の流速に対する位相差  $\theta$  を式(2)で定義し、 $-180^\circ \sim 180^\circ$  の間で求めると図7になる。(a)は  $\alpha=0^\circ$ 、(b)は  $\alpha=7^\circ$  の圧力側(c)は  $\alpha=7^\circ$  の吸込側で、記号は表1の実験条件の値を示す。位相差は圧力側、吸込側のすべてが負の値になっている。すなわち、圧力の方が、流速よりも位相が進んでいることを示している。また、圧力側の翼前半(増速域)では位相進みが増大する傾向にあり、圧力側の翼後半および吸込側全体(減速域)では位相進みが減少する傾向にあることが分かる。本実験範囲では無次元振幅  $\delta$  の位相差への影響はほとんどない。一方無次元振動数  $k$  が大きくなるにつれて翼面上の各測定点の位相進みは、圧力側、吸込側ともに迎え角  $\alpha$  に関係なく  $90^\circ$  進みの一様分布に近づくように思われる。

4. む す び

実験装置の都合上、無次元振動数および流速の変動振

幅の広い範囲での実験が行えなかったが、本実験範囲内で次のことが明らかになった。流速および圧力の測定波形はそれらの波形の基本周波数成分と時間平均値で近似できる。圧力係数の時間平均値は定常流の圧力係数に一致する。圧力係数の振幅は流速変動の振幅にほぼ比例し、また無次元振動数の増大により大きくなる。圧力側の圧力振幅は迎え角の影響が比較的小さい。圧力変動を基本周波数成分のみで考えたとき、流速変動に対する圧力変動の位相差は増速域で増大し、減速域で減少する傾向にある。

最後に、微小変動圧力を測定するための拡散形半導体小形圧力変換器の準備とその翼中への取り付けにご尽力いただいた豊田中央研究所の五十嵐氏と塚田氏に深謝いたします。また、実験装置の作製に協力された皆様にお礼申し上げます。  
(1983年3月15日受理)

参 考 文 献

- 1) たとえば, Theodorsen, T. NACA, Rep. 496(1935), 413. von Kármán, T. & Sears, W. R., J. A. S., 5-10 (1938), 379. Laidlaw, W. R. & Halfman, R. L., J. A. S., 23-2 (1956), 117.
- 2) たとえば, Isaacs, R., J. A. S., 12-1(1945), 113. Horlock, J. H., Trans. ASME, Ser. D, 90-4 (1968), 494. 安東, 市川, 航空学会誌, 25-283 (1977), 356.