

UDC 620.171.5:
624.073.6:
621.454.253

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-274

軸流圧縮機ディスクの強度

1. 外周付近に多数のピン孔を有するディスク

松末勝利・米内山 誠

1972年2月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 報 告

- TR-249 一般化 Newton-Raphson 法の計算機容量問題に対する改良最適化アルゴリズム
Modified Optimization Algorithm for Computer Storage Problems in Generalized Newton-Raphson Method 1971年10月 志 甫 徹
- TR-250 はりの大変形解析
Large Deflection of Cantilever Beams 1971年10月 多田保夫, 日下和夫
- TR-251 対称スピン衛星のニュートン運動による慣性力の場とそのニュートンダンパへの応用
Inertial Force Field Due to Nutational Motion of Spinning Axi-symmetric Satellite and its Application to Nutation Damper 1971年11月 村上 力, 狼 嘉彰
- TR-252T A Study of Subsonic Two-Dimensional Wall-Interference Effects in a Perforated Wind Tunnel with Particular Reference to the NAL 2m×2m Transonic Wind Tunnel Inapplicability of the Conventional Boundary Condition 1972年1月 Masao EBIHARA
- TR-253 圧縮性流れにおける翼型抗力の計算
A Calculation of Profile Drag of Airfoils in Compressible Flow 1971年11月 石田洋治
- TR-254 翼と不連続境界との干渉について
Interference Between Wing and Surface of Velocity Discontinuity 1971年11月 犬丸矩夫
- TR-255 地球の重力の作用下にある人工衛星の運動に関する研究
The Study on the Motion of an Artificial Satellite in the Earth's Gravitational Field 1971年12月 武内澄夫
松島弘一
- TR-256 リジッドヘリコプタロータのホバリングにおける縦揺れ減衰モーメントについて
On the Aerodynamic Damping Moment in Pitch of a Rigid Helicopter Rotor in Hovering 1971年11月 高澤金吾
- TR-257 周期的な軸力を受ける結合柱の安定
The Dynamic Stability of a Connected Rod under Periodic Longitudinal Force 1972年1月 佐野政明
- TR-258 三次元準最適直接式誘導法
Three Dimensional Suboptimal Explicit Guidance for Space Vehicles 1972年1月 大坪孔治
- TR-259 回転駆動振動検出型レートジャイロの研究
Study on a Rotary-Drive, Vibratory-output Rate Gyro 1972年1月 山田 博
- TR-260 気流全温度測定装置の試作
A High Sensitive Total Atmospheric Temperature Measuring Apparatus 1972年1月 西尾健二, 能瀬弘幸
越沼威, 井上重雄
臼井 弘, 大畑敏美
- TR-261 光弾性皮膜法による固体推進薬のひずみ測定
Strain Measurement of Solid Propellant Materials with Birefringent Coating 1972年1月 越出慎一

軸流圧縮機ディスクの強度*

(1 外周付近に多数のピン孔を有するディスク)

松末勝利**・米内山 誠***

Investigation of the Strength of Axial-Flow Compressor Disc.

(I. On the disc with many pin holes)

By Katsutoshi MATSUSUE and Makoto YONAIYAMA

In order to discuss the strength of a disc of an Axial-flow compressor, stresses of periferies of holes of a circular disc with many pin holes are measured by the photo-elastic method.

The force equivalent to the centrifugal force on rotating is loaded statically on the pin holes. As a result, it becomes clear that the maximum stress shows a great relationship to the number of the pin holes and to the distance from the centre to the outside circumference of the disc, but hardly any relationship to the radius of the pin hole. The maximum stress draws near to constant values as the distance of the centre of the pin hole from the outside circumference increases, irrespective of the pin holes, etc.

1. ま え が き

当所で試作された JR エンジンの軸流圧縮機には、動翼取付部にピン結合が採用されている。ピン結合の長所としては、振動問題に対して効果的な処置がとれる、または構造が単純化されるなどの利点がある。しかしその強度に関して、ブレード側の応力解析についてはいくつかの研究成果^{1,2,3)}があり、ディスク側については、偏心円孔を有する回転円板の応力解析⁴⁾、光弾性解析⁵⁾およびピン孔を有する回転円板の応力解析⁶⁾などがあるが、これらの解析結果はピン孔に関する寸法とディスクの強度との関係が明確にされていない。そこで本報では、特にディスク内のピン孔の設定資料を得ることを目的として、二次元光弾性法によって実験的に検討した。実験では、ピン孔の個数、直径および外周からの距離などを変えたディスクに、ブレードの遠心力に相当する力を静的に加えた場合とディスクのみ回転した場合とにわけて実験し、両方の場合についてピン孔縁の応力分布を求め、孔縁の最大応力を応力集中係数として表わした。実機の強度について検討するには、両者を重畳した応力を適用すればよい

が、ディスクのみの回転による応力は、ブレードの遠心力による応力と比較して、非常に小さいことがわかったので、主としてブレードの遠心力による応力について検討した。

2. 試 験 片

モデル材料としてエポキシ板（厚さ 6mm）を用いピンには黄銅を用いた。第1図は静的な実験に使用するため円板の一部として、ピン孔5個を含む扇形状に切り取ったモデルである。この形状を選んだ理由としては、完全な円板を用いて静的な実験を行なうためには、装置およびその取扱いが非常に複雑となり、実験結果の精度も期待できない。また扇形状の試験片を用いて安全な円板とほぼ同様な応力条件を便宜的に与えて実験し、その差がほとんどないことを確認できた。さらに応力分布を調べようとするピン孔は、5個のうち真中のピン孔である。以上の理由で一応扇形状のモデルを使用することにした。

モデル寸法は外径 $2R_0$ 、ピン孔直径 $2a$ 、ピン孔中心相互間の角度 θ_0 、外周からピン孔中心までの距り d などを第1表に示す。静的実験には R_0 を一定とし、 $2a$ 、 θ_0 、 d をそれぞれ数種類異なったモデルを用意し、ピン孔とピンとの間のクリアランス C は直径の異なるピンを使用することによって変えた。第1表の

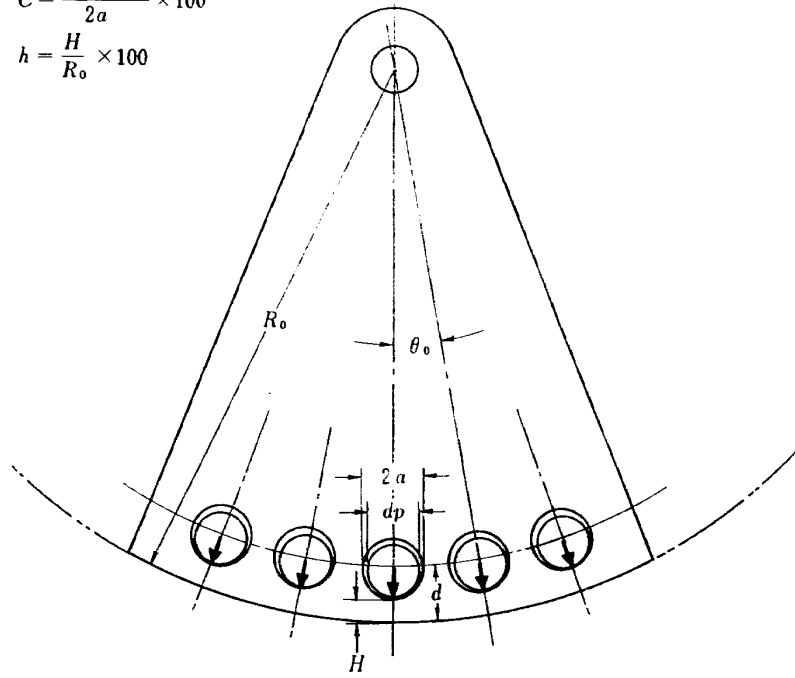
* 昭和46年12月23日受付

** 原動機部

*** 都立航空工業高等専門学校

$$C = \frac{2a - dp}{2a} \times 100$$

$$h = \frac{H}{R_0} \times 100$$



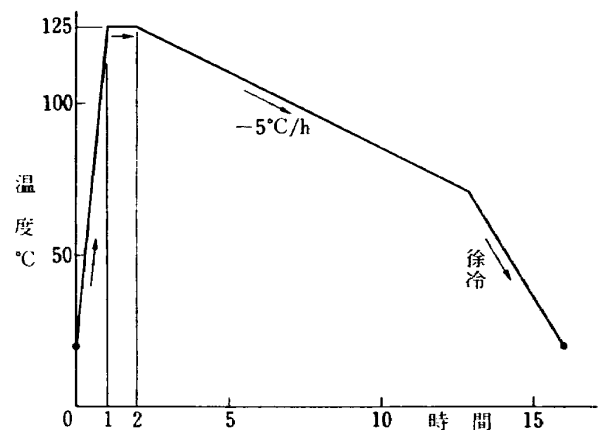
第1図 静的実験用モデル

第1表 モデルの各部寸法

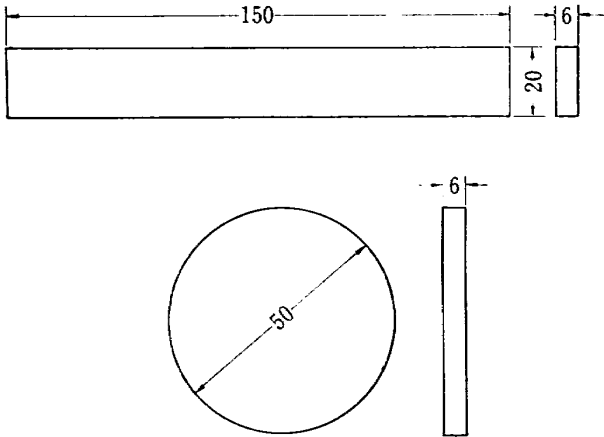
R_0 mm	θ_0 度	$2a$ mm	d mm	個数	C %	種類数
145	8	10	8~25	9	0.5 ~10.0	4
"	"	12	10~13	2	0.42~ 8.3	3
"	10	10	8~25	8	0.5 ~10.0	4
"	"	12	10~20	4	0.42~ 8.3	3
"	"	14	14~20	2	0.36~ 7.1	"
"	12	10	8~25	6	0.5 ~10.0	4
"	"	12	10~22	4	0.42~ 8.3	3
"	"	14	12~16	3	0.36~ 7.1	"
"	15	"	12~25	4	"	"
195	10	16	14~18	3	0.31~12.5	5
145	10	10	8~12	3	—	—

最下行に示すモデルは回転実験に使用した完全な円板である。

モデルの加工は前もって板にけがき線を入れ、大略糸ノコおよびヤスリで削り、最後は紙ヤスリで所定の寸法に仕上げた。ピン孔は仕上精度が重要なので、ドリルで下孔をあけ、さらにリーマを通して、ピンとの接触をなめらかにした。実験前には加工の際生じた縁応力を除去するために炉で焼鈍した。焼鈍条件は第2図に示すように 125°C で一時間加熱後毎時 5°C の速度で除冷した。焼鈍後長時間放置すると縁応力のため周辺部の縞模様にもだれを生ずる。したがって本実験では焼鈍後2時間以内に実験を完了させることとした。



第2図 凍結および焼鈍サイクル



第3図 光弾性感度検定用試験片

第3図は光弾性感度検定用の試験片である。これはそれぞれのモデルについて用意した。

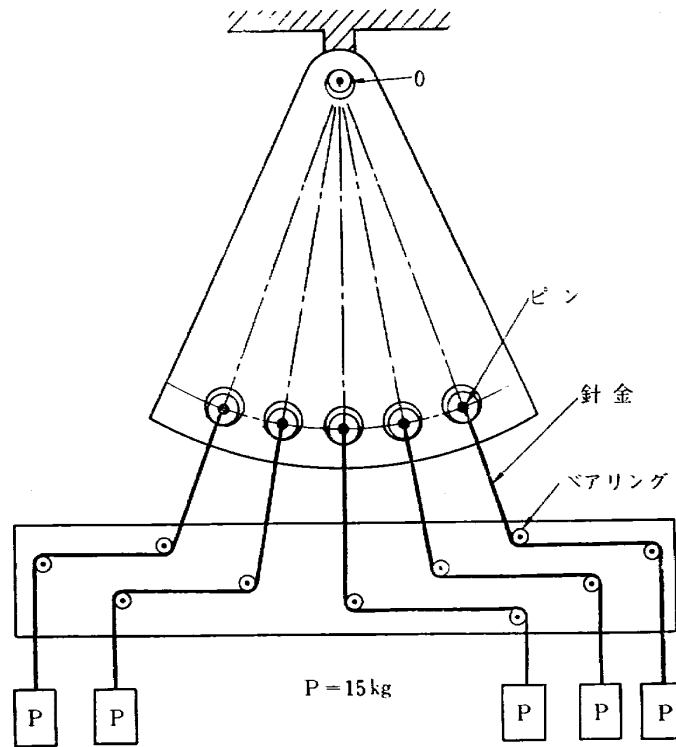
3. 実験装置および方法

実験には理研計器の標準型光弾性装置(口径 300mm)

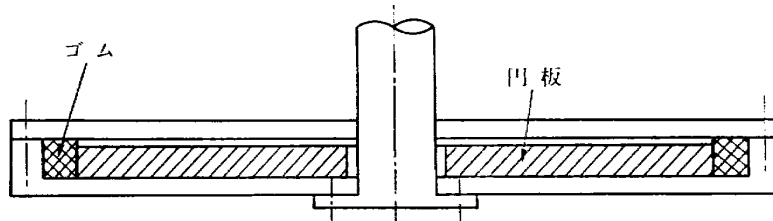
および三次元応力凍結炉を使用した。

第4図はブレードの遠心力に相当する力を静的に負荷する装置を示す。0点がディスクの中心に相当し、10mmの孔にブッシュを入れナイフエッジで支持されている。外周付近の5個のピン孔には所定のピンを挿入し、針金を介して重垂によって、ブレードの遠心力に相当する荷重が加わる。力の方向は0点を通るように、ベアリングを左右に移動して調整できる。静的な実験では縞模様を観察しながら行なえるので、荷重を加えながらピンとピン孔との接触がなめらかで、しかも板厚方向の曲げモーメントが加わらないようにその都度ピンを調節した。

ディスクの回転実験には凍結法を利用し、凍結条件は焼鈍条件と同一である。実験装置は第5図に示す。薄い円筒容器の内周壁にゴムを張り、その中に試験円板を入れ上ぶたをし、中心に軸を取り付け、これをモーターで駆動する方法で行なった。このような容器に入れて、回転する場合、非対称な回転とか、外周部に局部



第4図 静的負荷装置



第5図 回転試験装置

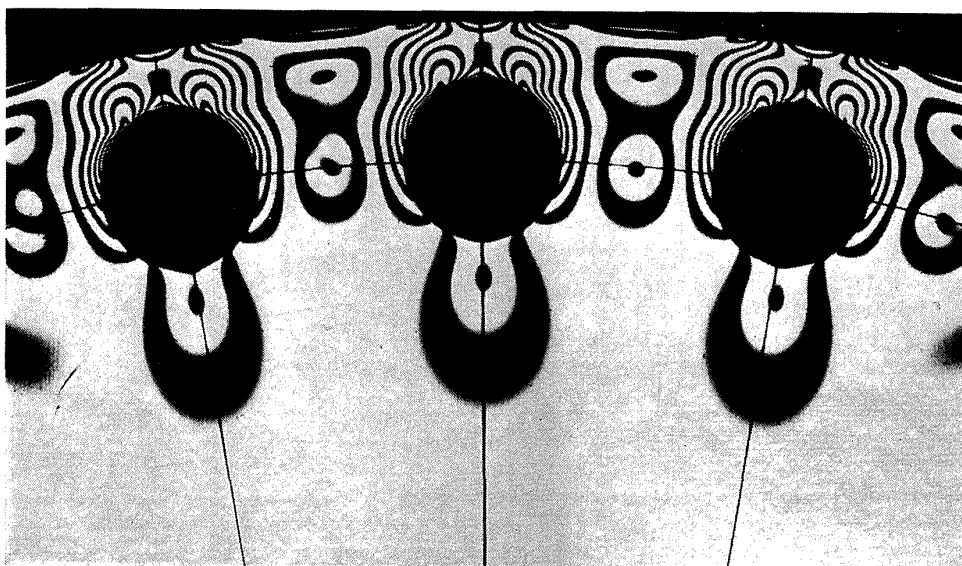
的な片あたりなどの不都合な問題が生ずる。しかし本実験では外周のゴムと試験円板との間に、まえもって一定のすきまを設け、数回の試験回転を行なって、そのすきまと回転および温度上昇によって生ずる円板直径の増加量とが等しくなるように調節して、高温回転中はすきまが零で、しかもゴムからの圧力も加わらない状態で実験した。

縞次数の測定はつい立てに投影して読みとり、さらに写真撮影してフィルムから求めた。1次以下の縞次数は明視野および暗視野両者から0.5次まで読み、それ以下は外挿法で0.1次まで求めた。

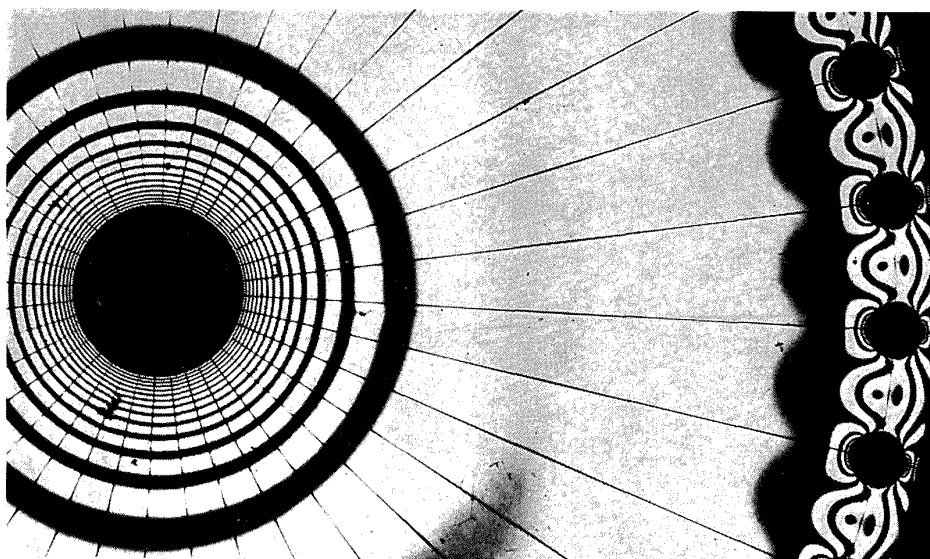
第6図は静的に負荷された場合の縞写真の一例であ

る。これはピンとピン孔との接触領域を詳細に調べるために凍結法で行なった。5個のピン孔のうち、3個が撮影されているが、中央のピン孔を測定の対象とした。3個のピン孔ともほぼ同様な縞模様を示すことがわかる。第7図はディスクのみの回転凍結による縞写真を示す。中心孔付近の縞模様は同心円を示し、ほぼ理想的な回転が行なわれていることがわかる。

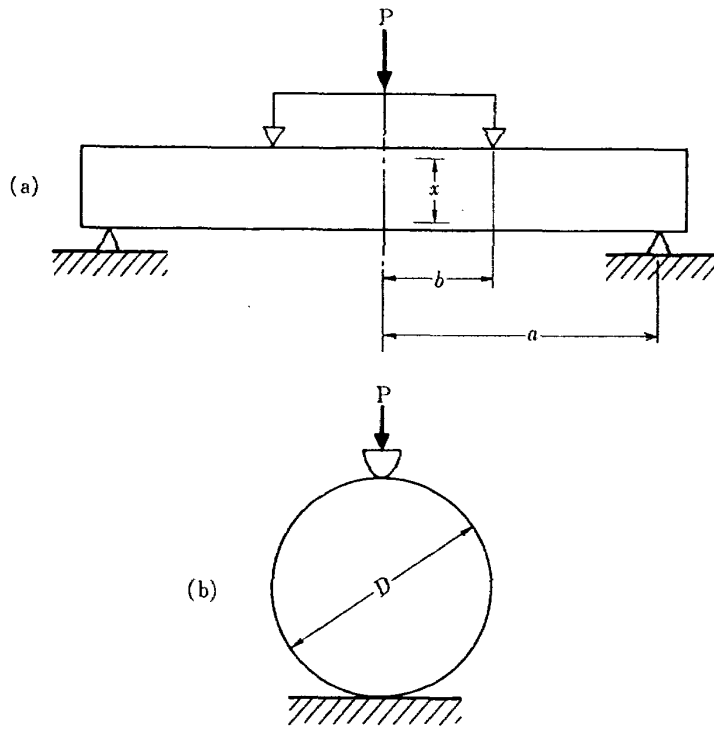
光弾性感度の検定の方法は第8図に示す。(a)は常温時の感度を求めるための方法で、四点曲げの実験である。帯板内の応力は簡単に計算できるので、実験では5~6次の縞が生ずるまで荷重を加え、写真撮影して縞次数を読みとり、計算で求めた応力との関係から



第6図 静的負荷による縞写真
($2a=16\text{ mm}$, $d=14\text{ mm}$, $\theta_0=10^\circ$)
($C=6.3\%$, $p=1\text{ kg}$, 凍結)



第7図 回転による縞写真
($2a=10\text{ mm}$, $d=8\text{ mm}$, $\theta_0=10^\circ$)
($R_0=145\text{ mm}$, 1580 RPM , 凍結)



第8図 光弾性感度検定実験

感度を求めた。(b)は凍結実験を行なう場合に使用した検定方法を示す。凍結温度(125°C)では、エポキシのヤング率が低下し、変形が大きくなるので、四点曲げの方法は不適當である。したがって変形の影響の小さい、円板の圧縮の方法を利用して円板中心の縞次数を測定し、これと計算で求めた応力との関係から感度を求めた。これらの感度検定に使用した試験片は、各モデルと同一材から切り出し、同時に熱処理されたものである。

4. 実験結果

4.1 光弾性感度の検定

光弾性感度 F はそれぞれ次式で求めた。

[常温法の場合]

$$F = \frac{h^3}{3(a-b) \cdot x} \cdot \frac{N_x}{P} \quad (\text{mm/kg})$$

ただし N_x : x の位置に現われる縞次数

P : 荷重 (kg)

h : 帯板の幅 (mm)

a, b : それぞれ帯板中心から支点までの距り (mm)

[凍結法の場合]

$$F = \frac{\pi D}{8P} \cdot N_0 \quad (\text{mm/kg})$$

ただし D : 円板の直径 (mm)

P : 荷重 (kg)

N_0 : 円板中心の縞次数

以上の両式で計算した結果、常温法の場合平均 0.91 mm/kg, 凍結法の場合平均 39.1 mm/kg の結果を得た。

4.2 ピン孔縁応力の整理方法

ピン孔を有する内板について、ピン孔周辺の応力を表わす場合、適当な基準応力を設定することによって、応力を無次元化して表わし、寸法の異なる円板にも適用する必要がある。しかし現在までに設計資料として適切な表わし方はないようである。そこで本報告では合理的な基準応力のとり方をも検討する意味で、次の三種類の応力 σ_{01} , σ_{02} , σ_{03} をそれぞれ基準応力として実験結果を整理して、その表現方法の優劣を考察することとする。

1) 円板直径断面上の平均応力 σ_{01}

$$\sigma_{01} = \frac{180}{\theta_0} \cdot P \cdot \frac{1}{2R_0 t}, \quad \alpha_1 = \frac{\sigma}{\sigma_{01}} \quad \text{or} \quad \frac{N}{N_{01}} \quad (1)$$

2) ピンに加わる平均面圧 σ_{02}

$$\sigma_{02} = \frac{P}{2at}, \quad \alpha_2 = \frac{\sigma}{\sigma_{02}} \quad \text{or} \quad \frac{N}{N_{02}} \quad (2)$$

3) ピン孔中心を通る有効断面上の平均応力 σ_{03}

$$\sigma_{03} = \frac{P}{[(R_0 - d)\theta_0 - 2a]t}, \quad \alpha_3 = \frac{\sigma}{\sigma_{03}} \quad \text{or} \quad \frac{N}{N_{03}} \quad (3)$$

上記三式の中で $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ はそれぞれの基準応力に対する、任意の点の応力の比を表わし、応力集中係数に相当する。 N_{01}, N_{02}, N_{03} はそれぞれ基準応力に対

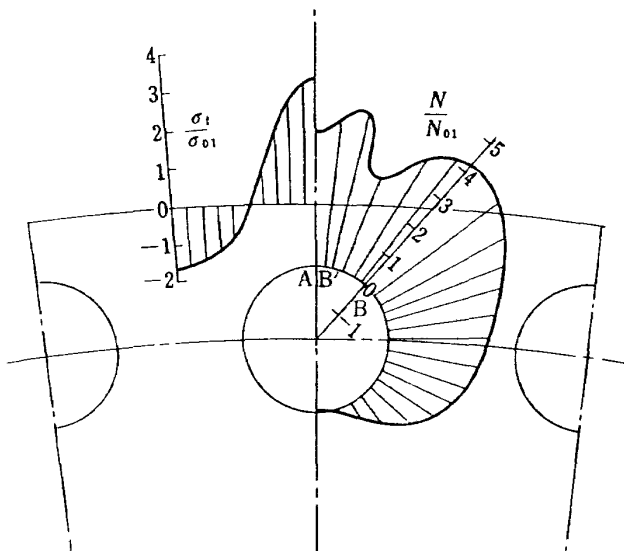
応する縞次数である。これら三つの基準応力を用いて以下の結果を整理することとする。

4.3 静的負荷におけるピン孔縁の応力分布

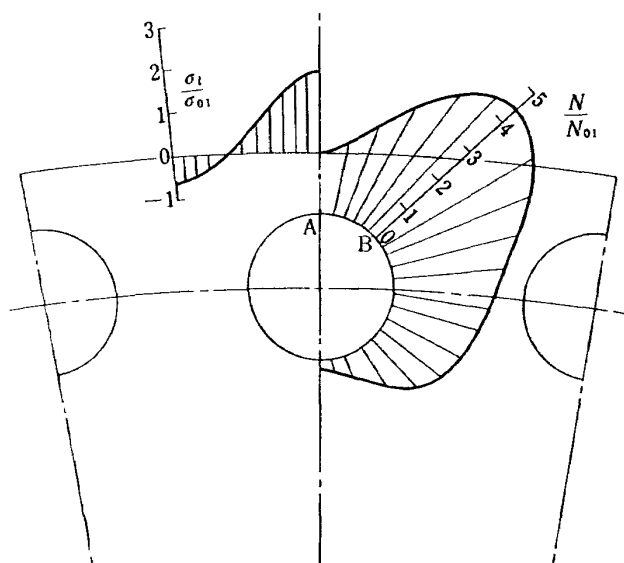
第9図および第10図は静的に負荷した場合のピン孔周辺の応力分布を調べるために描いた図である。光弾性写真の結果から縞次数を読みとり、ピン孔縁および外周に沿う応力分布を、それぞれ σ_{01} または N_{01} を基準応力または基準縞次数として表わした。

ピン孔縁にはピンの接触圧力が加わっているのに、孔縁に沿って求めた縞次数分布は厳密な応力分布ではないが、一応便宜的に縞次数分布 (N/N_{01}) で表わした。

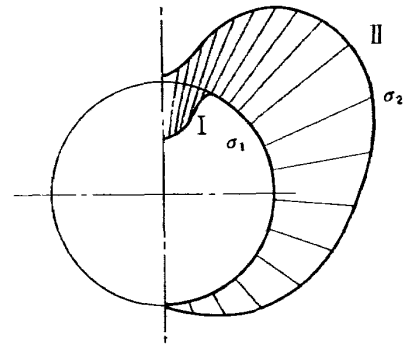
しかし強度について議論する場合、縞次数と最大剪断応力は比例しているので一般に最大剪断応力の最大の位置で降伏し、クラックまたは破壊の原因となると



第9図 孔縁の縞次数分布 ($C=12.5\%$)



第10図 孔縁の縞次数分布 ($C=0.3\%$)



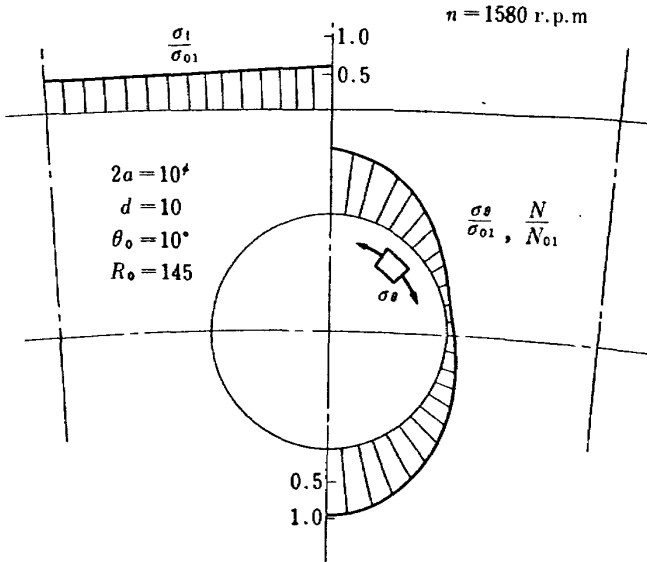
第11図 孔縁の主応力分布

される強度理論⁷⁾と矛盾しない、したがって縞次数を用いてもさしつかえないと考えられる。

第9図はピンとピン孔とのクリアランス C の大きい場合 ($C=12.5\%$)、第10図は小さい場合 ($C=0.3\%$)を示す。両図を比較すると孔縁の縞次数分布に違いがある。すなわち ($C=12.5\%$) には二つの山ができる。これはクリアランスの相違によって、ピンとピン孔との接触領域が異なるためである。この説明図を第11図に示す。縞次数 N は主応力差 ($\sigma_1 - \sigma_2$) に比例して生ずることを考慮すれば、ピン圧を示す I の曲線とピン孔に沿う応力を示す II の曲線との差に比例した数値が、孔縁の縞次数として現われることがわかる。すなわち図中両曲線間に引かれた線の長さが縞次数の大きさを与える。両図からピン孔縁の最大縞次数はクリアランスがかなり大きい場合でも ($C=12.5\%$) ほぼ B 点に生ずる。さらにクリアランスが大きくなれば、ピンの面圧は集中荷重に近づき、最大縞次数の生ずる位置は B 点から B' 点に移動する可能性もあるが、本実験では B 点に最大縞次数が生ずること、および実験の適用範囲内であること、などから本実験の結果を用いてディスクの強度を検討しても実用上さしつかえないと考えられる。これまで縞次数について議論してきたが、本実験の範囲では B 点はピンの接触領域外、すなわち自由境界上にあり、ピンからの面圧を受けていないので、B 点に最大縞次数を生ずる本実験の場合には、縞次数の大小をそのまま応力の大小とおきかえてもよい。したがって以下の図には応力で示され、すべて B 点付近の最大応力についてのべる。

4.4 回転によるピン孔縁の応力分布

第12図はディスクのみの回転によって生じた縞次数分布を示す。この場合はピン孔縁全域が自由境界になるので、縞次数から直ちに応力が求まる。ここで σ_0 は孔縁に沿う応力を表わし、 σ_1 はディスクの円周方向の応力である。それぞれ σ_{01} を基準応力として無次元化して表わした。孔縁の応力は前節で述べたプレー



第12図 回転による孔縁の繰回数分布

下の遠心力に相当する力を、静的に負荷された場合の応力と比較してかなり小さいことがわかる。これを実機の回転に適用して、応力の絶対値について比較すると、両者の差はさらに大きくなり、回転による応力はほとんど無視できる程度である。したがって以下の図

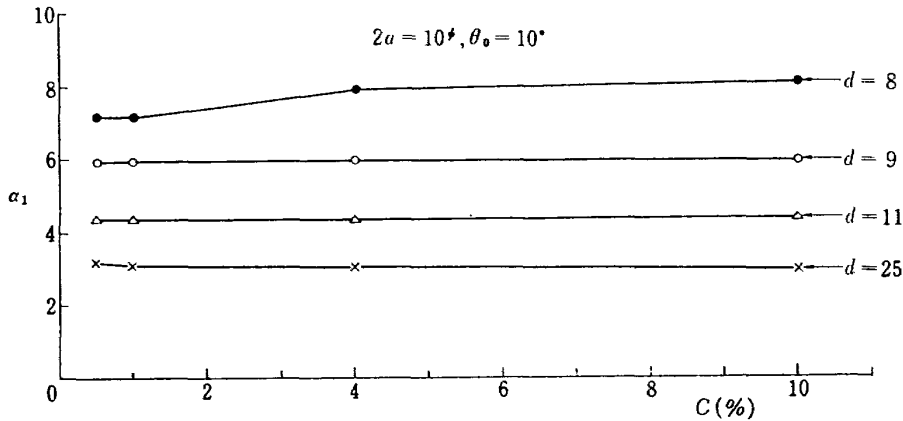
にはブレードの遠心力による応力のみ用いて強度についておのべる。

4.5 ピン孔縁の最大応力

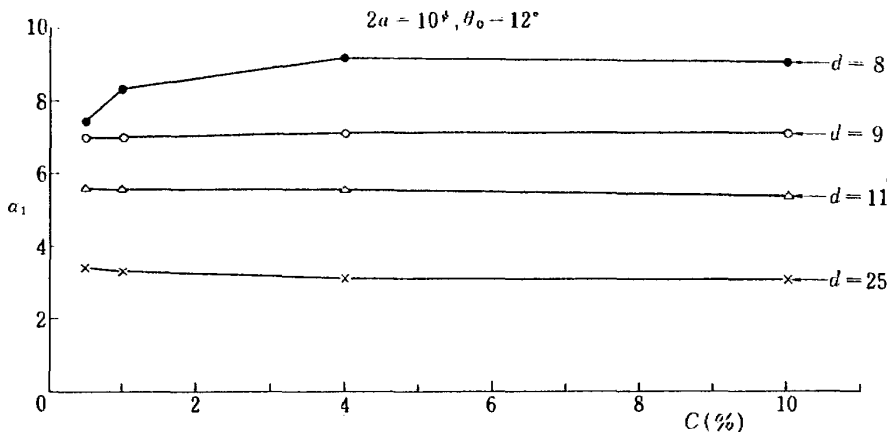
4.5.1 C および θ_0 による影響

第13図、第14図、第15図はクリアランス C の影響を調べるために、ピン孔縁の最大応力を縦軸にとり、ピン孔径 $2a$ およびピン孔相互間の角度 θ_0 をそれぞれ一定とし、円板外周からピン孔中心までの距り d をパラメータとして示したグラフである。これらの図から C が 3~4% までは、わずかに応力は上昇するが、それ以上の C に対しては、応力はほぼ一定となる。すなわちピンとピン孔とのすきまはあまり強度に影響しないことがわかる。第16図、第17図、第18図は $2a$ および C を一定とし、 d をパラメータとして θ_0 と応力との関係を示す。 θ_0 の増加とともに応力は増大するが、 d がある程度大きくなると θ_0 の影響はほとんどなくなる。この傾向は $2a$ および C の変化とは無関係である。

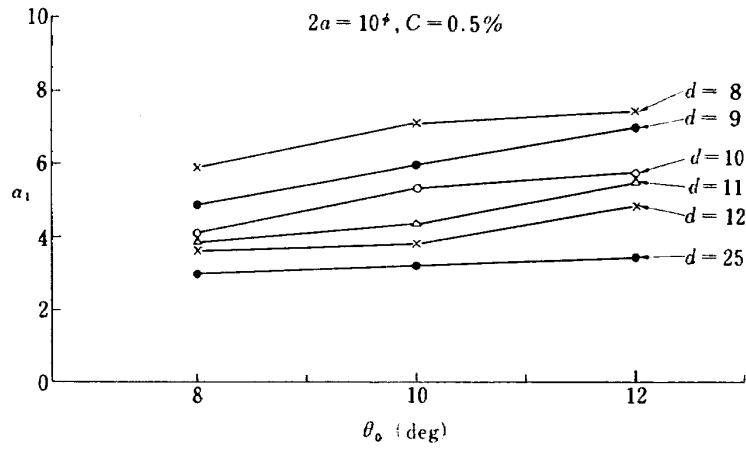
すなわちピン孔が外周に近い場合は θ_0 の影響を受けるけれども、それが外周から遠ざかるにしたがって



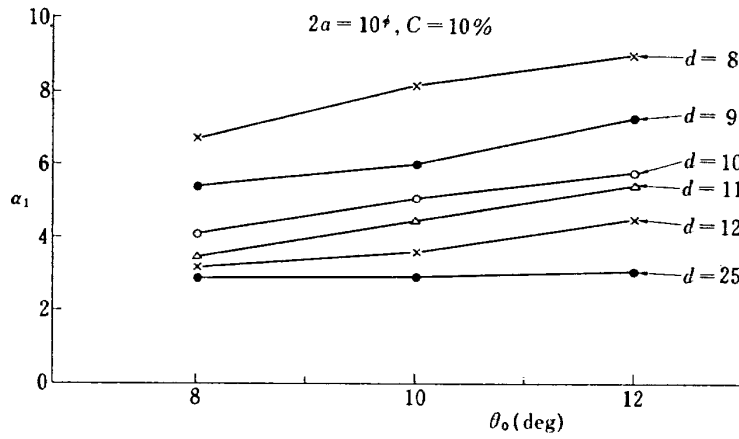
第13図 孔縁の最大応力とクリアランスとの関係



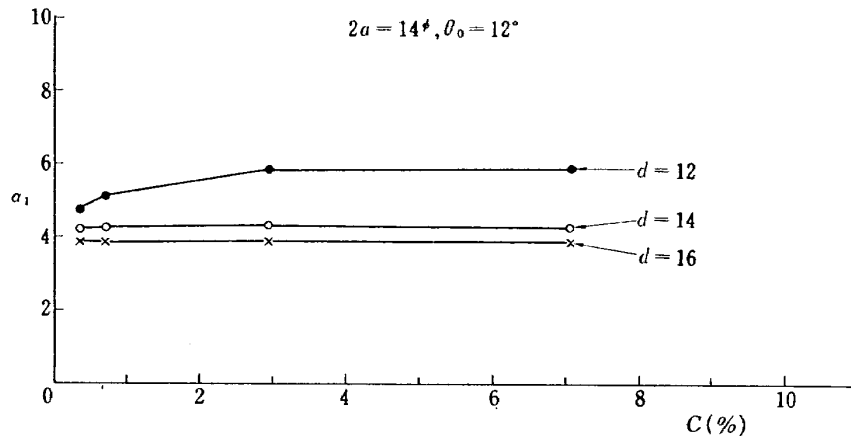
第14図 孔縁の最大応力とクリアランスとの関係



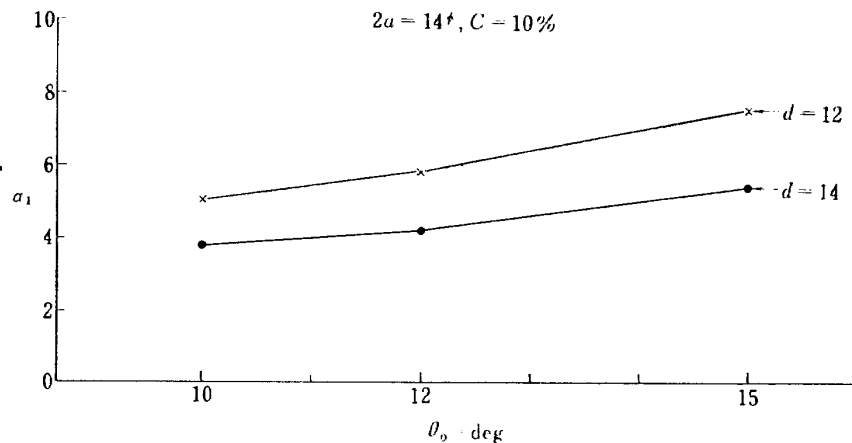
第15図 孔縁の最大応力とクリアランスとの関係



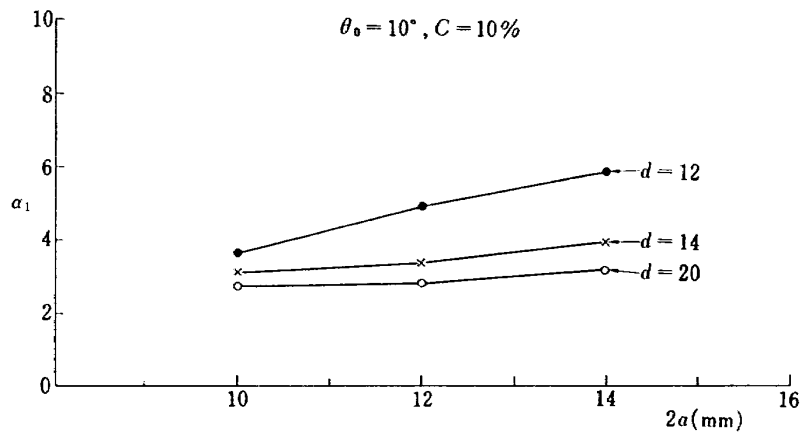
第16図 孔縁の最大応力と孔相互間の角度との関係



第17図 孔縁の最大応力と孔相互間の角度との関係



第18図 孔縁の最大応力と孔相互間の角度との関係



第19図 孔縁の最大応力と孔径との関係

θ_0 の変化とは無関係にはほぼ一定の強度を示すことを意味する。

4.5.2 $2a$ による影響

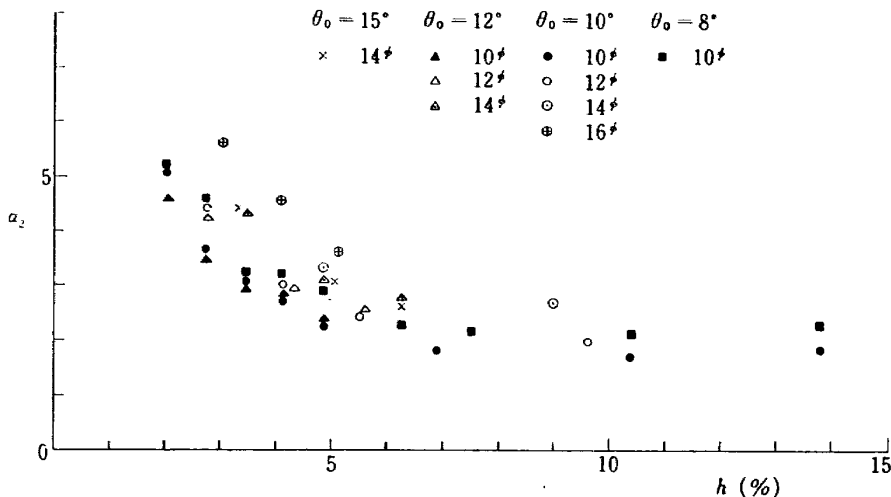
第19図は θ_0, C を一定として $2a$ と応力との関係を示す。 $2a$ の増加とともに応力は増大することがわかる。一般的に孔径が大きくなれば孔縁の応力集中は低下することが予想される。(例えば有孔帯板の引張りの場合など)しかしこの場合は全く逆の傾向を示す。この原因の定性的な説明を以下にのべる。

θ_0 および d を一定とし、 $2a$ のみ変化させた場合、同時に変わる量として、円板外周からピン孔縁までの距離 H とピン孔縁相互間の距離とが考えられる。ところが 4.5.1 で示されたように θ_0 の変化による応力の変化は小さいこと、換言すればピン孔縁相互間の距離の変化による応力の変化は小さいことが推測される。以上の考察から $2a$ の増加と応力増大との因果関係は、結局円板外周からピン孔縁までの距離 H の変化が重要な要素となっていることが明らかである。

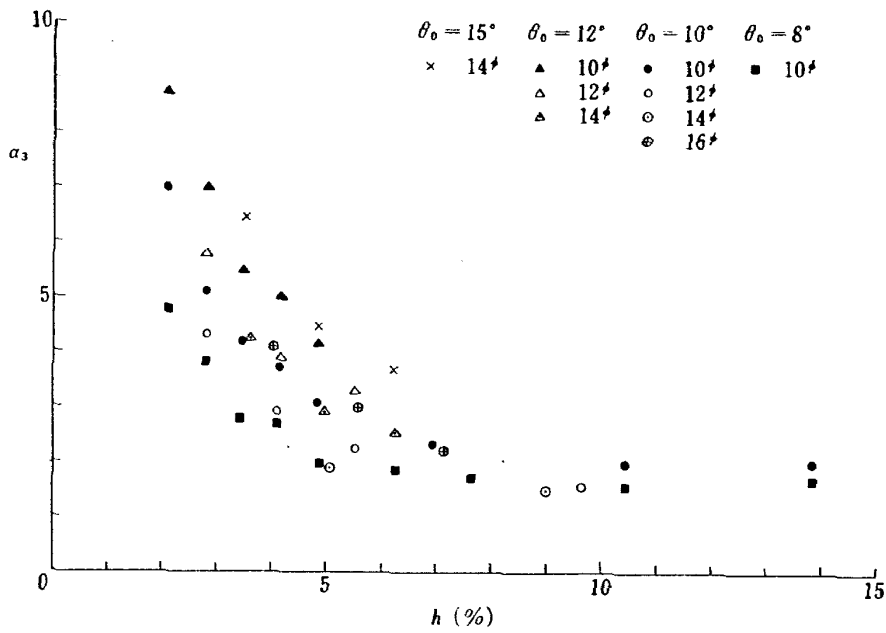
4.5.3 H による影響

第20図、第21図、第22図は H を無次元化した値 $h(=H/R_0)$ と応力との関係を示す。これらの図は 4.2 節でのべた (1), (2), (3) 式で表わされる応力 $\sigma_{01}, \sigma_{02}, \sigma_{03}$ をそれぞれ基準応力として、ピン孔縁の応力を表わした。第20図、第21図では h の増加とともに応力は減少している。しかし $2a, \theta_0$ などの相違による応力の変化が不明確で、全体として帯状をなしているだけであるが、第22図のごとく $\alpha_1(=\sigma/\sigma_{01})$ と h との関係を図示すると h の小さい範囲では、 θ_0 によって明らかに分離された曲線群となる。 h が大きくなると θ_0 にほとんど無関係に一定値 $\alpha_1=3$ に近づく。しかも θ_0 が小さいほど急激に一定値に収束する。またピン孔径 $2a$ にはほとんど無関係である。

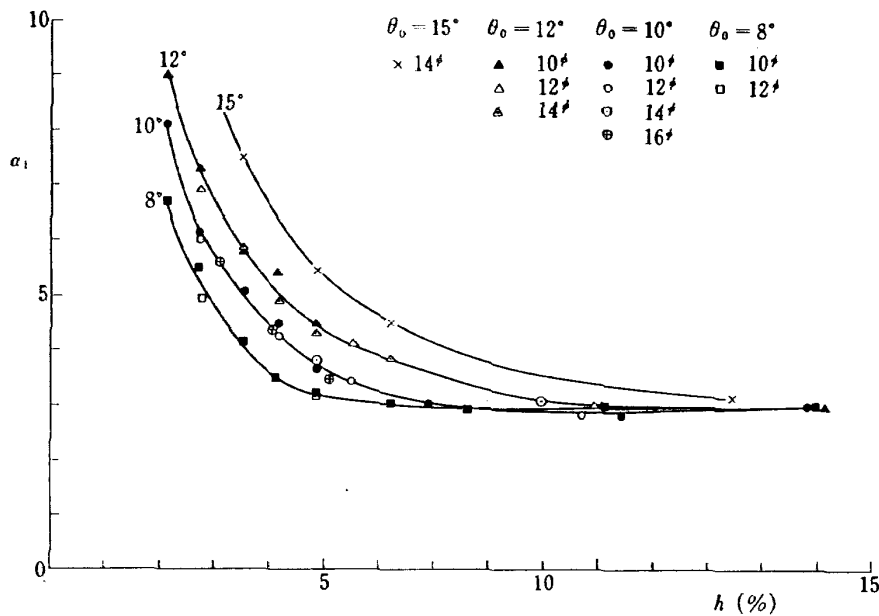
このように外周からピン孔縁までの距離について結果を整理すると、孔縁の応力の変化を明確に知ることができる。実機に適用する場合、ブレードの枚数、ブレードの遠心力などが与えられればピン孔径およびそ



第20図 孔縁の最大応力と孔の位置との関係



第21図 孔縁の最大応力と孔の位置との関係



第22図 孔縁の最大応力と孔の位置との関係

の位置から H の値がきまり、これに対応する応力が集中係数として求められる。

5. ま と め

本実験の結論として次のことがいえる。

1) ディスクのみ回転した場合の応力は、ブレードの遠心力による応力と比較してかなり小さいので、クリアランスが極端に大きくなければ、ブレードの遠心力による応力をそのまま実機に適用することができる。

2) 三種類の基準応力について考察した結果、ディスクの直径断面上の平均応力を基準応力として整理す

ると最も都合がよい。

3) ピン孔縁の最大応力はピン孔径 $2a$ には無関係となり、クリアランス C に対しても、特に小さい場合以外は変化しない。

4) ピン孔縁の最大応力はピン孔の位置 d に依存する。特にディスクの外周から孔縁までの距り h との関係を図示すると、その依存性が明確になる。すなわち最大応力は h の増加とともに減少し、その後一定値となる。またピン孔の個数が多くなるにしたがって、急激に一定値に近づく。

ピンジョイント型ディスクの結合部の強度について設計基準らしいものが全くないといってもよい現在、

本実験で得られた結果は必ずしも、厳密とはいえないが、ある程度設計の目安となると思う。

孔縁の最大応力は孔径に無関係であること、また外周からの距りの増加とともに、一定値3に近づくこと、などは注目すべき結果である。応力集中係数が3になる解析例は、ちょうど、有孔半無限板の引張りにおける、孔縁の応力集中係数の極限值に相当する。

この解析例と、本実験に使用したディスクの孔縁応力との関連性について言及することは不可能であるが、将来解析結果が得られた時点で、あらためて検討したいと考えている。終りに本研究について始終御検討いただいた、当所原動機部の松木部長ならびに鳥崎室長に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 池田ほか, 航空宇宙技術研究所報告 TR-183, 1969年9月
- 2) 神保ほか, 石川島播磨技報, Vol. 5, No. 26, 569-575, 昭和40年11月
- 3) 西田, 科研報告, Vol. 30, No. 2, 49-62, 昭和29年3月
- 4) T. Udoguchi, Jap. Scien. Rev., ser. 1, No. 1 (1958)
- 5) K. Leist, U.J. Weber, DVL Berichte, 57 (1958)
- 6) 神保ほか, 日本機械学会講演前刷, No. 197, 昭和43年9月
- 7) たとえば山田, 中原, 塑性学, 日本機械学会, 昭和35年2月

- TR-262 異径二円筒殻をコーンで連結した軸対称殻
の有限要素法構造解析
A Structural Analysis of Cylinder-Cone-
Cylinder Shells by F. E. M. 1972年1月 小河昭紀
- TR-263 多孔壁風洞における亜音速二次元風洞壁干
渉効果の研究と航空宇宙技術研究所 2 m
×2 m 遷音速風洞へのその適用
A Study of Subsonic, Two-Dimensional
Wall-Interference Effects in a Perforated
Wind Tunnel with Particular Reference
to the NAL 2 m×2 m Transonic Wind
Tunnel 1972年1月 海老原正夫
- TR-264 液体燃料ロケットを用いた衛星打上げ用飛
しょう体の初段に関する制御系構成
Flight Control System Design for Launch
Vehicle with Liquid Propellant 1972年1月 森 英彦, 興石 肇
- TR-265 ガスタービン用流体温度検出器
Fluidic Turbine Inlet Gas Temperature
Sensor 1972年1月 西尾健二, 遠藤征紀
遠藤篤和
- TR-266 鈍い頭部を有するロケット胴体の空力特性
に関する二, 三の考察
Some Considerations on the Aerodynamic
Characteristics for a Body of Rocket
with Blunt Nose 1972年1月 河本 巖
- TR-267 フロントファンの研究
Aerodynamic Design and Test Results of
Front Fans 1972年1月 藤井昭一, 西脇英夫
五味光男, 菅原 昇
武田克己
- TR-268T Aerodynamic Design and Test Results of
Front Fans Jan. 1972 Shoichi FUJII
Hideo NISHIWAKI
Mitsuo GOMI
- TR-269T Approximation of Linear Operator Semi-
groups Feb. 1972 Tadayasu TAKAHASHI
- TR-270 円筒殻の座屈実験
The Experiments on the Buckling of
Circular Cylindrical Shells 1972年2月 戸田 勸, 日下和夫
- TR-271 並列結合はりの振動
On the Vibration of Three-Parallel-Beams 1972年2月 林 洋一, 築地恒夫
- TR-272 遷音速軸流タービンの研究 (第一報)
—タービンノズル円環翼列の実験—
An Investigation of a Transonic Axial-
Flow Turbine (I) —A Cold Air Test
of the Annular Turbine Nozzel Cas-
cade— 1972年2月 鳥崎忠雄, 能瀬弘幸
森田光男, 井上重雄
関根静雄
- TR-273 高速軸流タービンの研究 (第二報)
—1段軸流タービンの研究—
An Investigation of a High Speed Axial
Flow Turbine (II) —A Investigation
of a Single Stage Turbine— 1972年2月 鳥崎忠雄, 森田光男
能瀬弘幸, 関根静雄
井上重雄

航空宇宙技術研究所報告274号

昭和47年2月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)☎182

印刷所 有限会社啓文堂松本印刷
東京都文京区水道2-7-5