

UDC

539.4.012

621-25

航空宇宙技術研究所資料

TM-24

円輪と薄肉円筒の回転強度の関係

永井文雄

1963年11月

航空宇宙技術研究所

円輪と薄肉円筒の回転強度の関係*

永 井 文 雄**

1. ま え が き

回転円板の強度については、軟鋼円板の降伏⁽¹⁾のみならず延性材料ならびに脆性材料からなる円板の破壊⁽²⁾について、すでに研究を行ない、円板の強度は円輪の強度をもとにして考えればよく説明できることを述べておいた。

この報告は、円輪と薄肉円筒の回転強度の関係を実験的に調べた結果を述べたものであって、この実験は回転円筒の強度に関する資料をうるための予備実験として行なったのである。

2. 試 験 円 筒

試験円筒の材料として、長さ 5 m、外径 $D=50$ mm、内径 $d=44$ mm (内外径比 $r=\frac{d}{D}=0.88$) の1本のアルミニウム円管を用いた。この円管の寸法は割合に正確にできていたので、その内周および外周は加工しなくてすみ、旋盤でつっきるだけで任意の長さの試験円筒を作ることができた。しかし、この円管は軸方向の長さが長いので軸方向に強度のばらつきがあると思われるので、この円管から軸方向の長さ $L=10$ mm の試験円筒を等間隔に6個作り、回転による破壊試験を行なっ

第 1 表
 $L=10$ mm

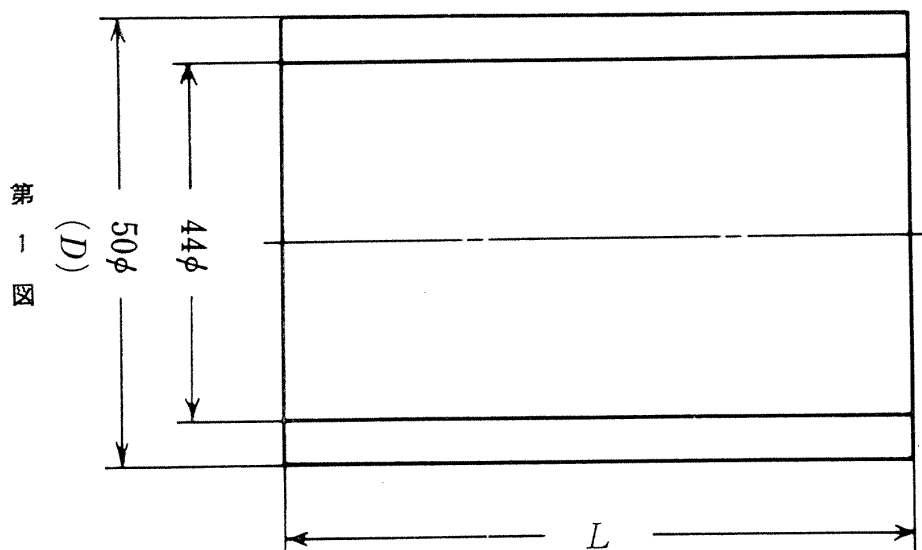
| n rpm | \bar{n} rpm |
|------------|------------------|
| 80,000 | 80,800 |
| 82,000 | |
| 80,000 | |
| 82,000 | |
| 81,000 | |
| 80,000 | |

た。第1表がその試験結果であって、表中の n は破壊回転数、 \bar{n} はその平均値を示し、破壊回転

* 昭和38年11月1日受付

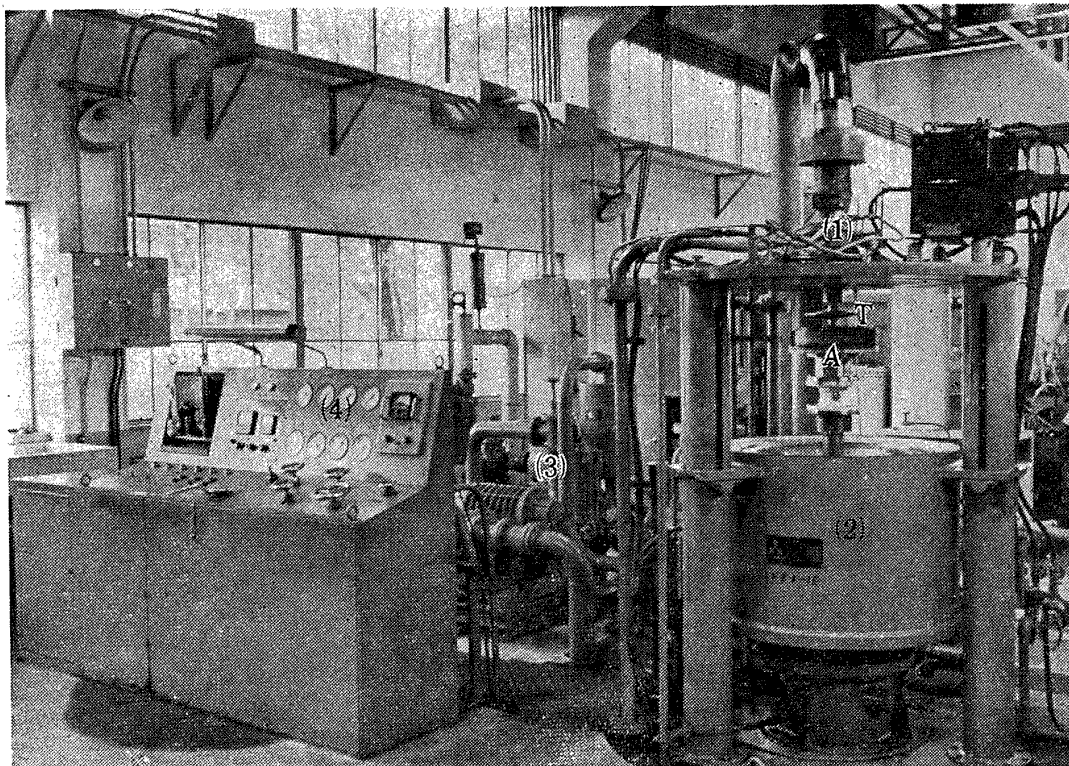
** 原動機部

数はほとんど一致していて円管の軸方向に強度のばらつきがあまりないことが確かめられた。



試験円筒は第 1 図の如きもので、軸方向の長さは $L=5\text{ mm}$ から $L=160\text{ mm}$ まで 12 種類のものを作った。各試験円筒は両端面の平行が完全にできるように旋盤で削られ規定寸法に仕上げられた。そして、加工の影響を除くために、加工後、 300°C で 2 時間焼鈍を行ない炉中で冷却を行なった。

3. 実験装置および駆動方法



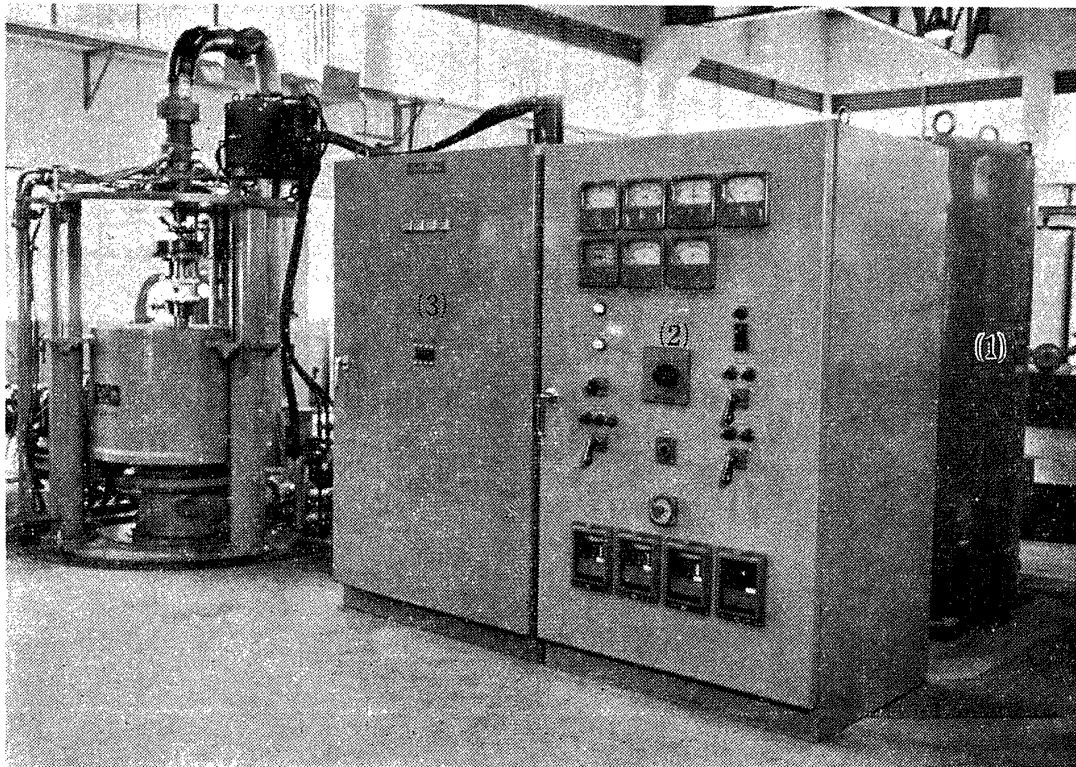
第 2 図

実験に用いた回転試験装置は第2図の如きもので、その主な仕様は次のとおりである。

| | |
|---------|-----------------|
| 駆動方式 | 空気タービン |
| 回転数 | 最高 100,000 rpm |
| 回転体の大きさ | |
| 最大直径 | 400 mm |
| 最大長さ | 350 mm |
| 最大重量 | 10 kg |
| 真空度 | 最高 0.1 mm Hgabs |

第2図において、(1)は駆動部でこの中に空気タービンがあり、直径5mmの駆動軸により試験体Tを駆動する。(2)は鋼槽で写真は鋼槽が下がった状態を示したもので、駆動時には油圧により鋼槽を上部に押し上げ、(3)に示すようなロータリー・ポンプおよびメカニカル・ブースターにより鋼槽内部を真空にする。また、鋼槽の内側には2枚の厚さ16mmの鋼板が入れてあり、さらに、この鋼板の内側に厚さ80mmの鉛の保護筒が入れてあるので、これにより試験体が破壊して、内周にあたった時の衝撃を防ぐとともに破壊した試験体をなるべく変形させないようにしてある。(4)は制御板である。この回転試験装置にはAの如きダンパー軸受がついているので、これを用いることにより軸方向に長い試験体を駆動することができる。

なお、この回転試験装置は、高周波誘導加熱により駆動中の回転体を加熱することができるようになっている。この加熱装置はわれわれの今の実験には関係ないことであるが、概要を述べれば次



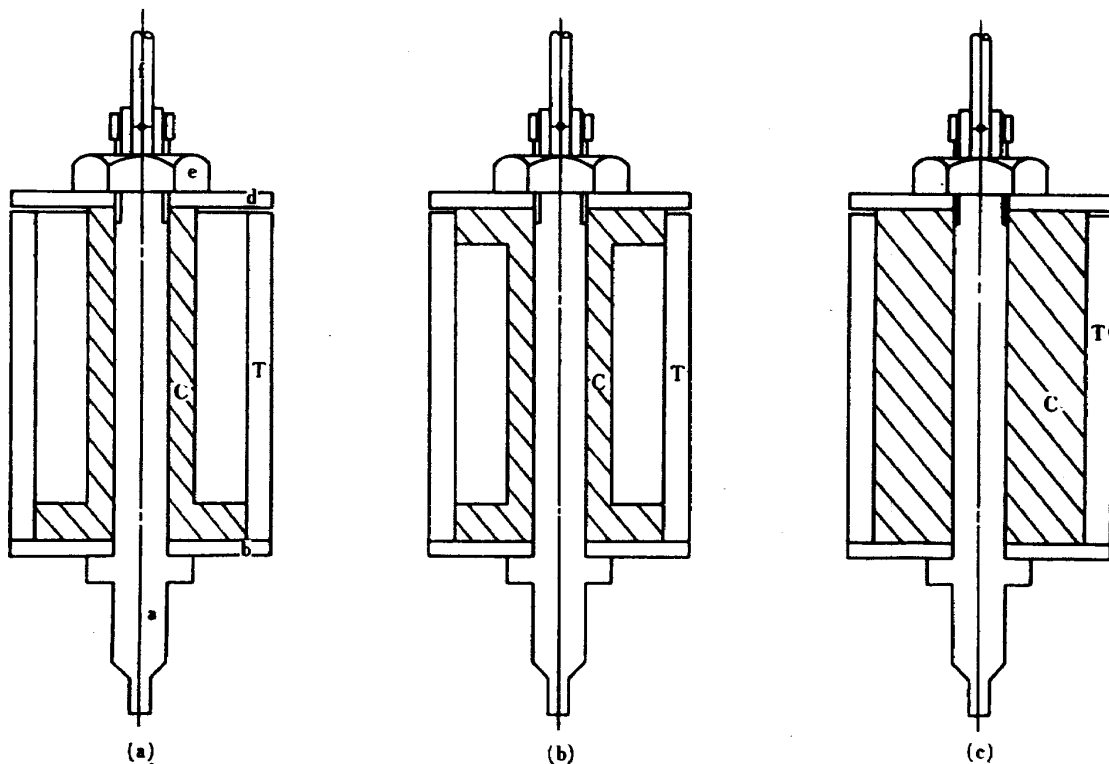
第 3 図

のようなものである。第3図は高周波発生装置を示したもので、(1)が高周波発電機でこれは直結された50 kWの三相誘導電動機により駆動される。(2)は高周波発電機盤ですべての操作はここで行なう。(3)は力率整合盤、(4)は高周波変成器である。高周波発生装置の主な仕様は次のとおりである。

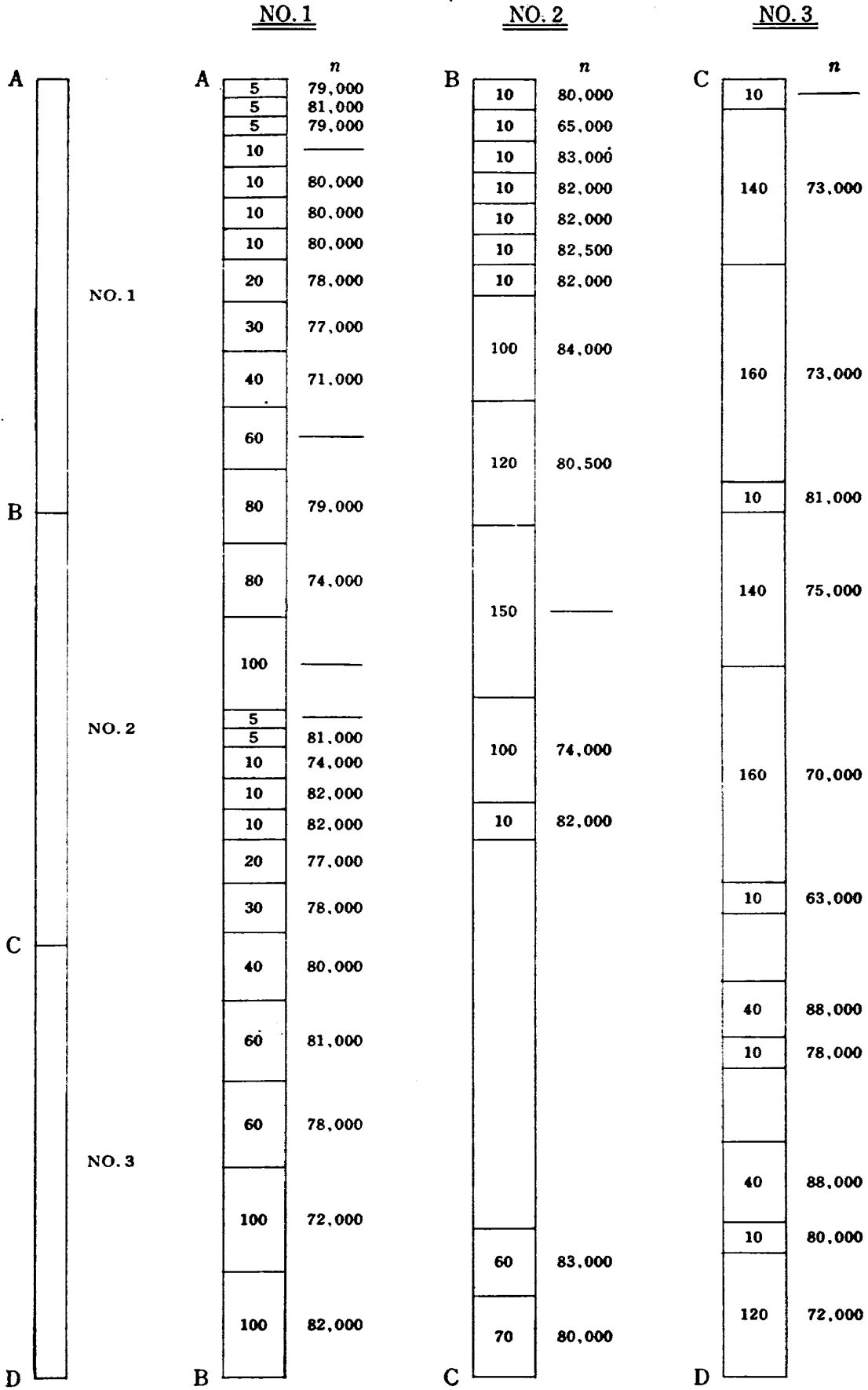
高周波発電機

| | |
|----------|----------------------|
| 出力 | 30 kW |
| 電圧 | 250 V |
| 電流 | 120 A |
| 周波数 | 8,000 c/s |
| 最高加熱温度 | 1,000°C (回転体の外周において) |
| 回転体の最大直径 | 300 mm |

試験円筒の駆動は第4図に示すような方法を用いた。この図において、aは取付金具でこの外側に取付用円板bと試験円筒Tをおき、試験円筒のセンターを出すために試験円筒と取付金具との間にスペーサーcをおいた。また、回転中の振動等により試験円筒が上部にとびださないようにするため、スペーサーの上部にもう一枚の取付用円板dをおき、これらをナットeで締めて駆動軸fにつなぎ試験円筒を駆動した。スペーサーは試験円筒の高さよりわずかに高くしてあるので、試験円筒は取付用円板bとの間の摩擦力によって取付用円板bとともに回転する。



第 4 図

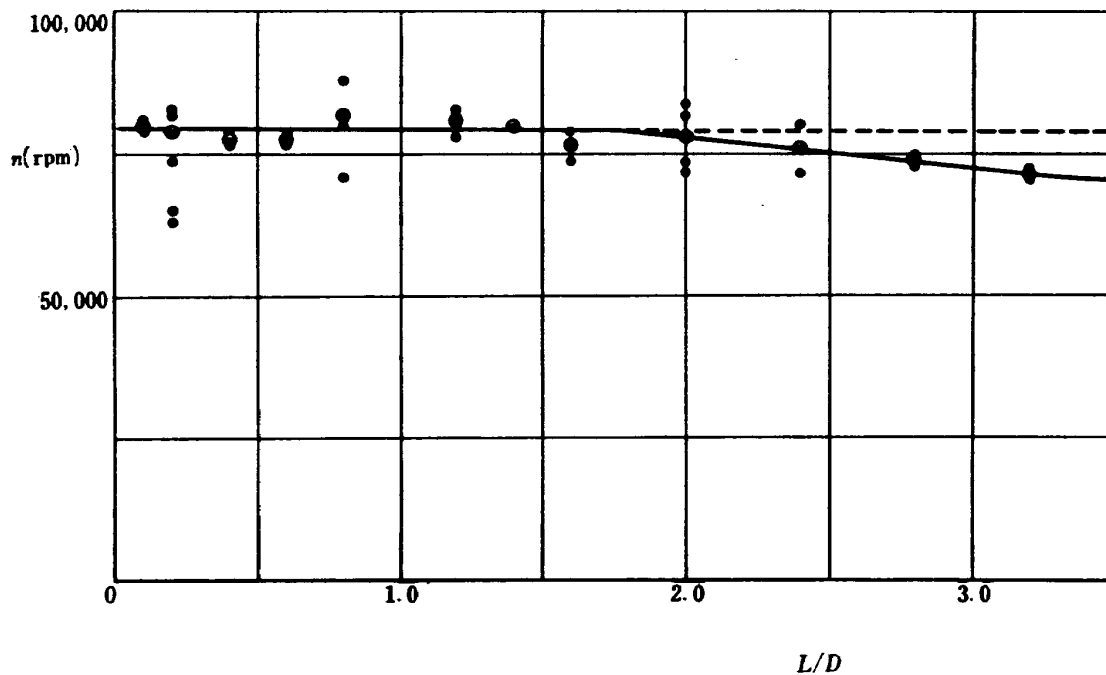


第 5 図

円筒の破壊試験をするにあたり回転中の振動はできるだけ防止する必要がある。そのために取付金具類はできるだけ軽くしなければならない。取付金具類の中でスペーサーが最も重いので、スペーサーはアルミニウムで作り、形は第4図(a), (b), (c)に示すような3種類のものについて実験を行なってみた。(a)図では試験円筒はスペーサーの下部のみで支えるようにしてある。このスペーサーを用いた場合には、試験円筒はスペーサーのあたるところだけがふくらみ回転不能になってしまうので、このスペーサーは用いないことにした。(b)図では試験円筒はスペーサーの上部および下部で支えるようにしてある。この場合には試験円筒はスペーサーのあたる部分はふくらみ、中央部はくぼんでしまうので、このスペーサーも用いないことにした。(c)図ではスペーサーが試験円筒の内周いっぱいに入れてあるので、スペーサーの重量が重くなるという欠点はあるが、この場合には円筒は破壊するまで振動を起こさずに回転することができたので、実験はすべてこのスペーサーを用いて行なうことにした。

4. 実験結果

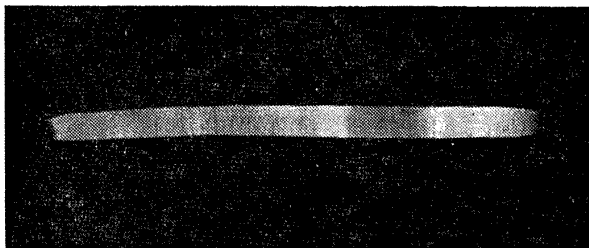
第5図、第2表および第6図は実験結果を示している。第5図は円筒を削り出したアルミニウム円管の位置、円筒の軸方向の長さおよびその破壊回転数 n を示している。この図において、1本のアルミニウム円管ADを3等分したA-B、B-C、C-DをそれぞれNo. 1、No. 2、No. 3とし、各円管から削り出した試験円筒の軸方向の長さをわく内に数字で示し、その破壊回転数をわくの右側に示している。図中、わく内に数字のかいてないのは試験円筒を作らなかった部分であり、破壊回転数の部分に——印をしてあるのは実験が失敗したことを示している。第2表は試験円筒の

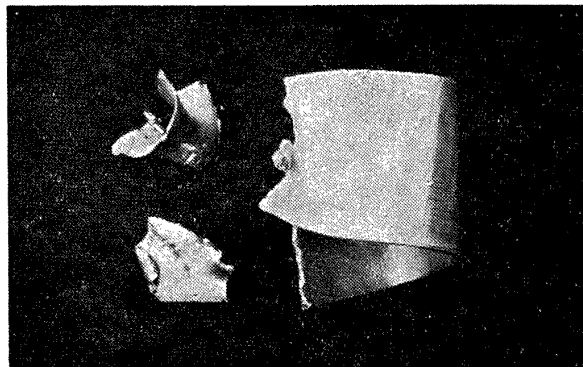


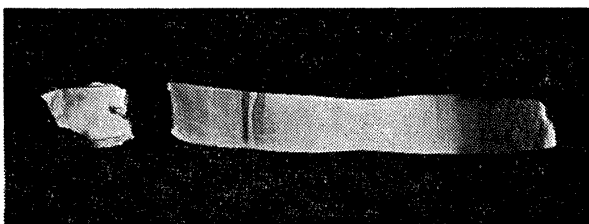
第 6 図

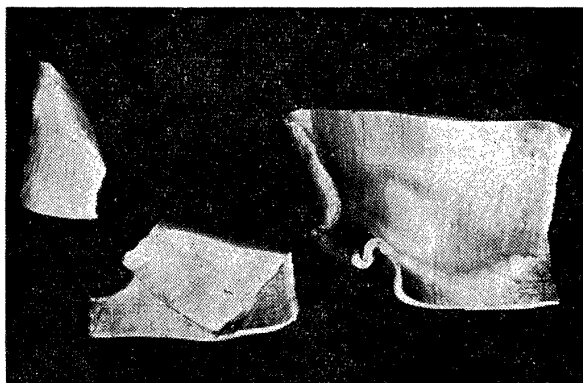
第 2 表

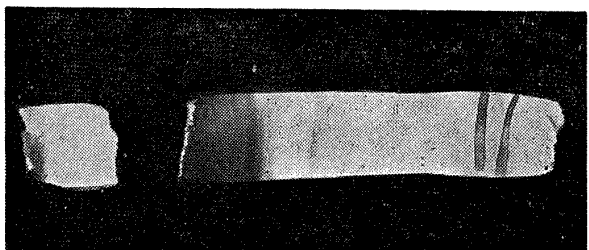
| <i>L</i> mm | <i>L/D</i> | <i>n</i> rpm | \bar{n} rpm | <i>L</i> mm | <i>L/D</i> | <i>n</i> rpm | \bar{n} rpm | |
|----------------|------------|-----------------|------------------|----------------|------------|-----------------|------------------|--------|
| 5 | 0.10 | 79,000 | 80,000 | 30 | 0.60 | 77,000 | 77,500 | |
| " | " | 81,000 | | " | " | 78,000 | | |
| " | " | 79,000 | | 78,700 | 40 | 0.80 | 71,000 | 81,800 |
| " | " | 81,000 | | | " | " | 80,000 | |
| | | | " | | " | 88,000 | | |
| | | | " | | " | 88,000 | | |
| 10 | 0.20 | 80,000 | 78,700 | 60 | 1.20 | 81,000 | 80,700 | |
| " | " | 80,000 | | " | " | 78,000 | | |
| " | " | 80,000 | | " | " | 83,000 | | |
| " | " | 74,000 | | 80,000 | 70 | 1.40 | 80,000 | |
| " | " | 82,000 | | | 76,500 | 80 | 1.60 | 79,000 |
| " | " | 82,000 | | " | | " | 74,000 | |
| " | " | 80,000 | | 78,000 | 100 | 2.00 | 72,000 | |
| " | " | 65,000 | | | " | " | 82,000 | |
| " | " | 83,000 | | | " | " | 84,000 | |
| " | " | 82,000 | | | " | " | 74,000 | |
| " | " | 82,000 | | 76,300 | 120 | 2.40 | 80,500 | |
| " | " | 82,500 | | | " | " | 72,000 | |
| " | " | 82,000 | | | 74,000 | 140 | 2.80 | 73,000 |
| " | " | 82,000 | | | | " | " | 75,000 |
| " | " | 81,000 | | 77,500 | 160 | 3.20 | 73,000 | |
| " | " | 81,000 | | | " | " | 70,000 | |
| " | " | 63,000 | 71,500 | | | | | |
| " | " | 78,000 | | | | | | |
| " | " | 80,000 | | | | | | |
| 20 | 0.40 | 78,000 | 77,500 | 160 | 3.20 | 73,000 | 71,500 | |
| " | " | 77,000 | | " | " | 70,000 | | |

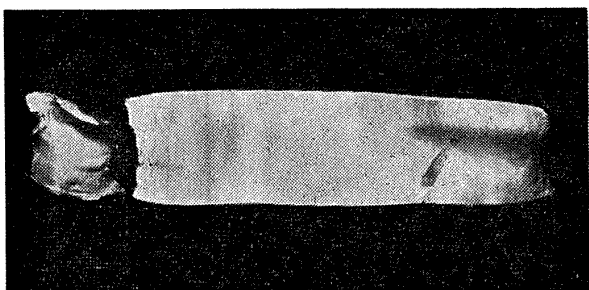


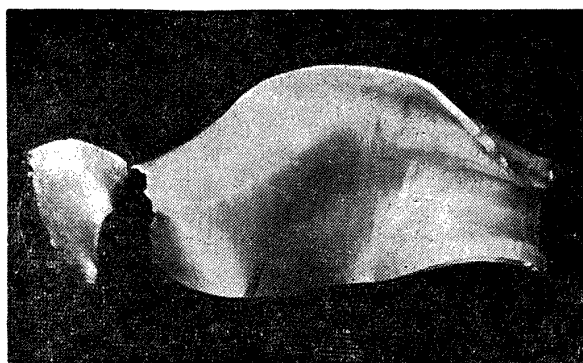
$$\begin{cases} L=10 \text{ mm} \\ n=80,000 \text{ rpm} \end{cases}$$


$$\begin{cases} L=60 \text{ mm} \\ n=81,000 \text{ rpm} \end{cases}$$


$$\begin{cases} L=20 \text{ mm} \\ n=77,000 \text{ rpm} \end{cases}$$


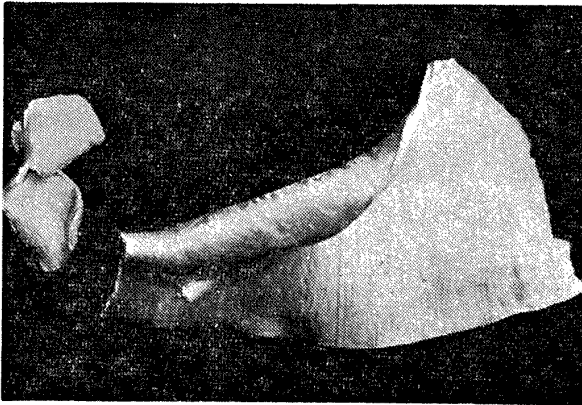
$$\begin{cases} L=70 \text{ mm} \\ n=80,000 \text{ rpm} \end{cases}$$


$$\begin{cases} L=30 \text{ mm} \\ n=78,000 \text{ rpm} \end{cases}$$


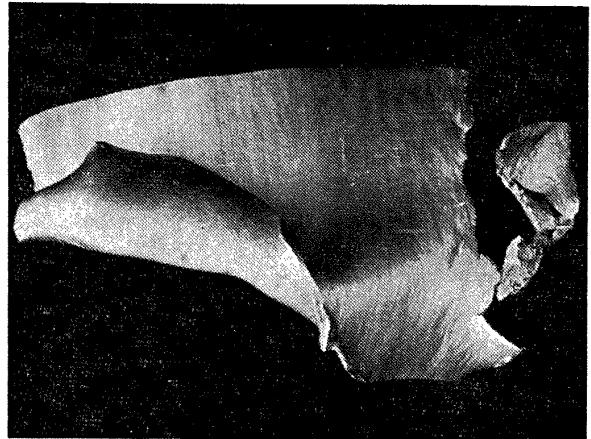
$$\begin{cases} L=40 \text{ mm} \\ n=80,000 \text{ rpm} \end{cases}$$


$$\begin{cases} L=80 \text{ mm} \\ n=79,000 \text{ rpm} \end{cases}$$

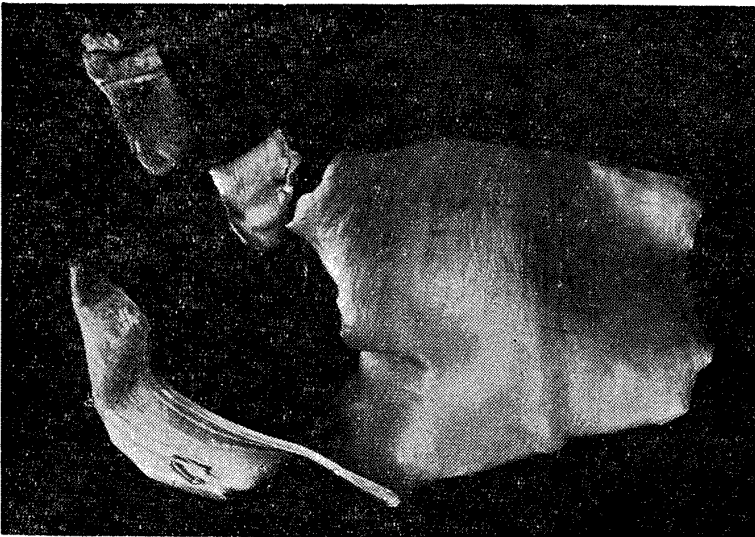
第 7 図



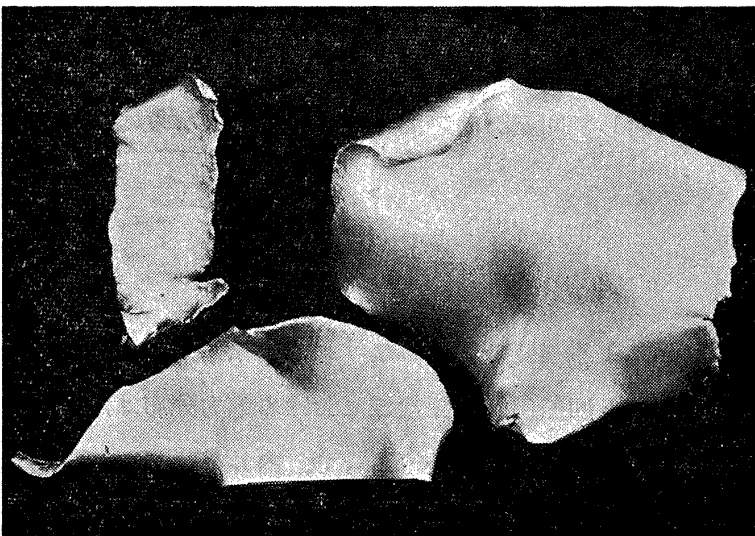
$\left\{ \begin{array}{l} L=100 \text{ mm} \\ n=84,000 \text{ rpm} \end{array} \right.$



$\left\{ \begin{array}{l} L=120 \text{ mm} \\ n=72,000 \text{ rpm} \end{array} \right.$



$\left\{ \begin{array}{l} L=140 \text{ mm} \\ n=73,000 \text{ rpm} \end{array} \right.$



$\left\{ \begin{array}{l} L=160 \text{ mm} \\ n=70,000 \text{ rpm} \end{array} \right.$

第 7 図

長さに対して破壊回転数 n を整理したものである。表中の L は試験円筒の長さ、 D は試験円筒の外径であり、 \bar{n} は破壊回転数の平均値を示している。第6図は破壊回転数と円筒の長さとの関係を示したもので、縦軸の n は破壊回転数、横軸の L/D は試験円筒の外径に対する長さの比を示している。図中、 \bullet 印は破壊回転数を示し、 \odot 印はその平均値を示している。この図から、試験円筒の破壊回転数は $L/D < 1.8$ の範囲ではほとんど一定であるが、 $L/D > 1.8$ の範囲では L/D の増加とともに下がっていることがわかる。第7図は試験円筒が破壊したあとでその破片を集めて写真にとったものである。破片はほとんど帯状に拡がっており、しかも長さが長い部分と短い部分にわかれていて、その長さの割合はほぼ一定になっている。

5. 実験に対する考察

円輪の回転による応力分布は円周方向への均等引張りであり、薄肉円筒でも回転による応力分布は円周方向への均等引張りと考えられる。このように円輪も薄肉円筒も回転による応力分布が円周方向への均等引張りであれば、その破壊回転数は L/D に無関係に一定にならなければならないのに実験ではそのようになっていない。試験円筒が長くなるにつれて破壊回転数が下がるのは、材料内に含まれる欠陥によるものと思われる。すなわち、試験円筒の長さが増せば体積も増すので、その中に欠陥が含まれる可能性が大きくなり、強度も低下することになる。第6図に示した実験結果において、 $L/D > 1.8$ の範囲で破壊回転数が低下しているのはこのためであると思われる。

円筒が破壊するまでは遠心力は円周応力と平衡を保っている。しかし、破壊が起これば円周応力と遠心力との平衡はくずれるが、遠心力のために円筒には曲げモーメントが作用する。第7図で破片が帯状に拡がっているのは、この曲げモーメントによるものと思われる。また、円筒が破壊すればコリオリの力が作用するが、この力の大きさは円筒の破面に対して回転方向と回転と逆の方向とは異っていて、回転方向では回転と逆の方向よりも曲げによる破壊は起こりやすい。このことは鋳鉄円輪の回転による破壊で明りょうに観察することができる。⁽³⁾ 第7図に示した小さい方の破片は円筒が円周応力で破壊した後で、その破面に対して回転方向の部分が曲げモーメントによって破壊したものであると思っている。

6. 結 論

内外径比が同じ円輪と円筒では、材料の欠陥による強度の低下がなければ回転による強度は同じであることがわかった。内外径比が同じ回転円筒と回転円板の弾性域における応力分布はほとんど同じである。このことは塑性域における応力分布についても同様であって、内外径比が同じであれば円筒と円板の回転強度はほとんど同じであると思っている。ただ、問題は材料の欠陥による強度の低下をどれだけ見込むかということである。

終りに、終始御指導と御討論を賜った佐藤和郎先生に深く感謝の意を表する次第である。また、実験を手伝ってくれた神保勝久君並びに渡辺一郎君にも感謝の意を表する次第である。

文 献

- (1) 佐藤, 永井 : 航技研報告 TR-11 (1961年)
- (2) 佐藤, 永井 : 航技研報告 TR-38 (1963年)
- (3) 佐藤, 永井 : 航技研報告 TR-47 (1963年)

| | |
|--|--|
| <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> | <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> |
| <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> | <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> |

| | |
|--|--|
| <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> | <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> |
| <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> | <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> |

| | |
|--|--|
| <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> | <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> |
| <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> | <p>永井文雄 NAL TM-24 539.4.012 621-25</p> |

既 刊 資 料

| | | | |
|-------|---|-----------|---|
| TM- 1 | 高マッハ数風洞について (I) | 1961年 11月 | 平 木 一, 清水福寿 橋 本 登 |
| TM- 2 | 航空技術研究所計数型電子計算機設備 プログラムライブラリー (I) | 1962年 2月 | 樋口一雄, 戸川隼人之 三好甫, 高橋利雄 能美力, 板垣芳子 鳥海良三, 佐藤保子 |
| TM- 4 | 18 cm×20cm超音速風洞について | 1962年 5月 | 長洲秀夫, 伝田幸雄 |
| TM- 5 | 遷音速流の線型理論 | 1962年 8月 | 細川 敏 |
| TM- 6 | 18 cm×18cm遷音速風洞整備試験 | 1962年 8月 | 橋 本 登, 井上政一 |
| TM- 7 | 慣性力形疲労試験機 | 1962年 8月 | 竹内和之, 山根皓三郎 |
| TM- 8 | アルミ合金の前歴が疲れ寿命に およぼす実験的研究 | 1962年 9月 | 池田為治, 坂元思無邪 |
| TM- 9 | 方向性次元解析と相似解に関する覚書 | 1963年 2月 | 甲藤好郎, 小出 勉 |
| TM-10 | DATATRON 205 用 ALGOL 58 使用方法について | 1963年 2月 | 高橋利之 |
| TM-11 | 光弾性による高速車盤の縞模様 | 1963年 2月 | 永井文雄 |
| TM-12 | コーティングの断熱効果に関する実験 | 1963年 3月 | 竹中幸彦, 小川幸一 林 洋一 |
| TM-13 | 遷音速における 45° 後退角の予備的実験 | 1963年 3月 | 中井暎一, 小原 瑛 |
| TM-14 | 変断面片持梁固有振動数の一計算方法 について | 1963年 3月 | 中井暎一, 小原 瑛 鳥海良三, 安藤泰勝 |
| TM-16 | フラッタ試験設備測定部交換ノズルの 予備試験 | 1963年 4月 | 中井暎一, 橋爪 宏 高木俊朗, 橋 本 登 |
| TM-17 | VTOL 機用 Jet Lift Engine に関す る一考察 | 1963年 5月 | 鳥崎忠雄, 松木正勝 山中竜夫, 藤井昭一 |
| TM-18 | ヘリコプター振動のパワースペクトル 解析 | 1963年 6月 | 小野幸一 |
| TM-19 | 吹出式超音速風洞による実験データの 処理方式について (I) | 1963年 6月 | 新井 忠, 原 亘利 |
| TM-20 | 1 m×1 m吹出式超音速風洞における AGARD標準模型Bの三分力試験 | 1963年 7月 | 高木廣治, 谷 喬 斎藤秀夫, 新井 忠 |
| TM-21 | 国産中型輸送機 YS-11 主翼疲労試験 (第1報) | 1963年 9月 | 竹内和之, 飯田宗四郎 北谷虔勇, 中井治夫 |

注：欠番は配布先を限定したもの。

航空宇宙技術研究所資料24号

昭和38年11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(0422)(3)5171(代表) |
| 印 刷 所 | 奥村印刷株式会社 東京都千代田区西神田1~10 |
