

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-511

ファンエンジン用高圧圧縮機の研究(9)  
空力試験機HC-20改のインレットディストーション試験

齊藤喜夫・菅原昇・大山耕一

1983年5月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# ファンエンジン用高圧圧縮機の研究(9)

## 空力試験機HC-20改のインレットディストーション試験\*

齊藤 喜夫\*\* 菅原 昇\*\* 大山 耕一\*\*

### 1. ま え が き

ファンエンジンの高圧圧縮機は、設計点で作動している場合に、入口の流れが一様であると仮定して設計されている。しかし、高圧圧縮機の前方にはファン、低圧圧縮機やダクト等が存在するため、高圧圧縮機入口の流速は必ずしも一様ではない。特に、エンジンがアイドル付近の低速で運転されていると、ファンおよび低圧圧縮機は極端な部分負荷の状態で作動しているため、高圧圧縮機入口における流速の半径方向分布にはディストーションが生じやすい。このように、インレットディストーションがある状態で作動している圧縮機の低速域における性能や作動範囲を予測することは困難であるが、ファンエンジンの高圧圧縮機の実用性を確保するためには重要な問題である。そこで、通商産業省工業技術院の大型工業技術研究開発「航空機用ジェットエンジンの研究開発」におけるエンジン要素研究の一環として、ファンエンジン用の高圧圧縮機(空力試験機)HC-20改について、低速域で、入口流速に半径方向の定常ディストーションがある場合の、性能、効率および作動範囲を確認するための試験を行った。

### 2. 記 号

$N$	: 修正回転速度	rpm
$N_*$	: 設計回転速度	rpm
$P_1$	: 圧縮機入口の全圧	kg/cm <sup>2</sup>
$P_2$	: 圧縮機出口の全圧	kg/cm <sup>2</sup>
$V$	: 圧縮機入口の流速	m/s
$\bar{V}$	: " 平均流速	m/s
$V_{max}$	: " 最大流速	m/s

$V_{min}$	: " 最小流速	m/s
$W$	: 修正空気流量	kg/s
$r$	: 半径	m
$r_f$	: 流路外径	m
$r_h$	: 流路内径	m
$\eta_{ad}$	: 断熱効率	
$\sigma_{rms}$	: 翼の振動応力の自乗平均値	kg/mm <sup>2</sup>
$\phi$	: ディストーション率	

### 3. 試験装置および方法

本研究は、供試圧縮機として、ファンエンジンFJR710/20の要素試験用に試作された高圧圧縮機空力試験機HC-20改<sup>1)</sup>を用い、圧縮機入口に取付けたディストーション発生装置により、圧縮機入口の流速の半径方向分布にディストーションを生じさせ、回転数 $N/N_* = 0 \sim 70\%$ の範囲における試験、計測を行ったものである。

#### 3.1 供試圧縮機

供試圧縮機(高圧圧縮機空力試験機HC-20改)は、図1に示すように、入口案内翼および第1~第4段静翼が可変静翼となっている12段の軸流圧縮機で、その主な設計仕様は次の通りである。

形式	軸流12段
流路形状	平均径一定
修正回転速度	13200rpm
修正空気流量	19.0 kg/s
圧力比	12.4
入口外径	500mm
入口ボス比	0.6

本試験は低回転速度の範囲で行ったため、回転数によらず、可変静翼の食違い角は最大となる位置に固定した。

\* 昭和57年11月16日受付  
\*\* 原動機部

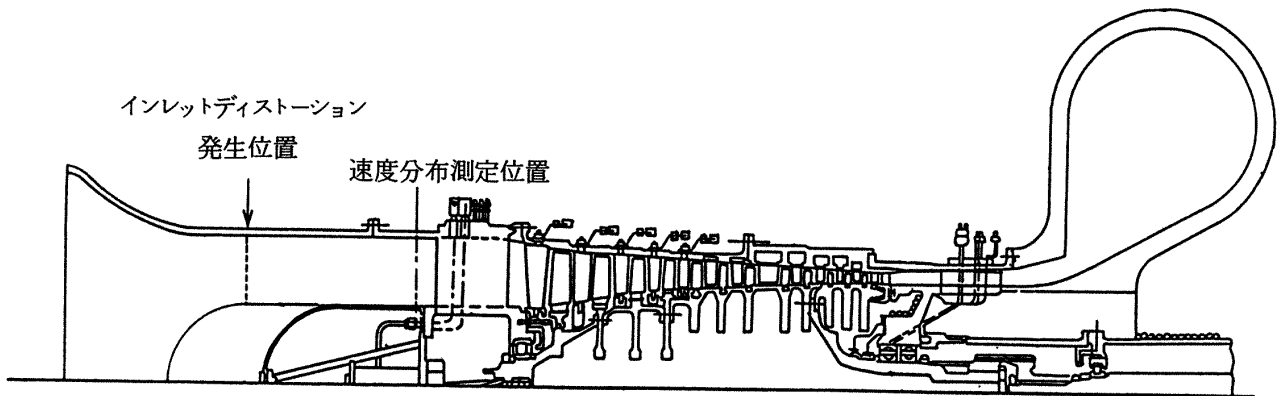


図1 高圧圧縮機空力試験機 (HC-20 改)

### 3.2 ディストーション発生装置

圧縮機入口における流速の半径方向のディストーションは、圧縮機入口の平行流路部先端に取付けられたディストーション発生装置 (図2) によって形成される。ディストーションの発生部 (図3) は入口案内翼の前方 520mm の位置にあり (図1 参照)、多孔板 (孔径 3mm, 孔の間隔 4mm, 厚さ 0.8mm, 開口面積比 51%) で気流に速度欠損を生じさせることにより流速のディストーションが形成される。多孔板は外壁側用 ( $A_1 \sim A_3$ ) と内壁側用 ( $B_1 \sim B_3$ ) それぞれ 3 種を用意し (表1)、それらを単独または組合せて用い、異ったパターンのディストーション

を形成した。

### 3.3 計測装置

圧縮機入口の流速の半径方向分布は、ディストーション発生部より 305mm 後方 (入口案内翼の前方 215mm) に設置した 2 本の楕形ピトー静圧管 (測定点数は各 5 点) により計測した。図4に楕形ピトー静圧管の周方向の取付位置を示す。圧縮機の空力性能、効率等の計測および翼の振動応力や流れの非定常現象の監視、計測は通常の性能試験と同様に行った。<sup>1),2)</sup>

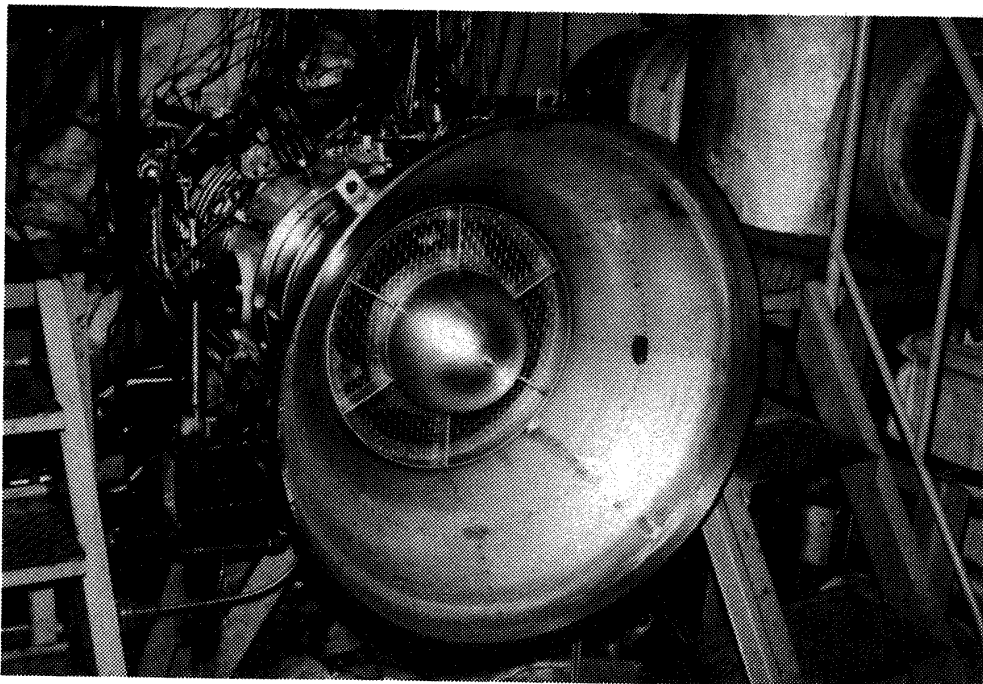


図2 ディストーション発生装置

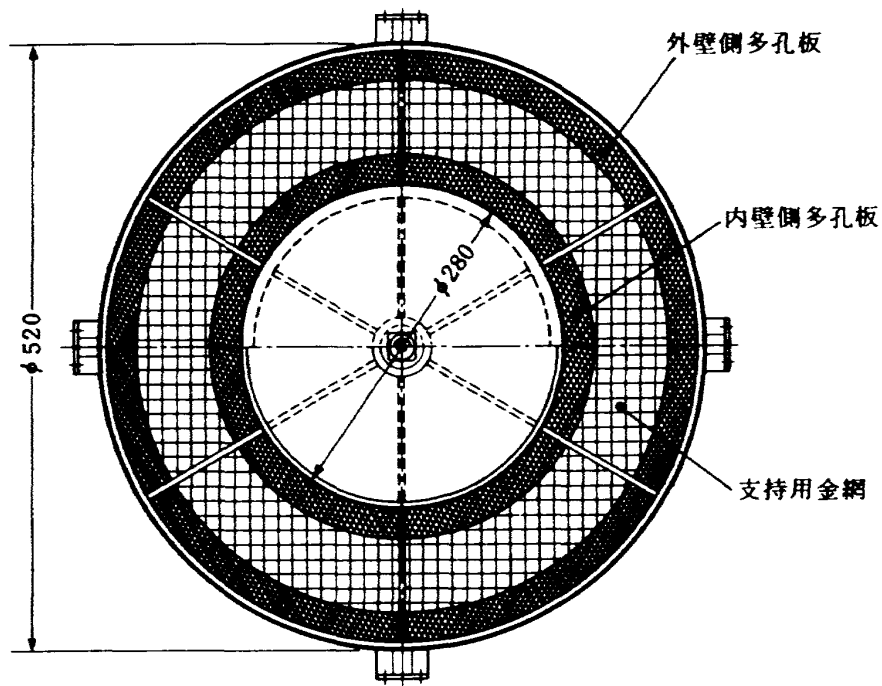
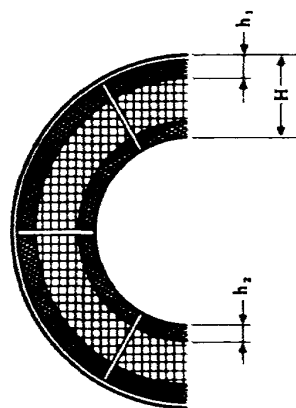


図3 ディストーション発生部

表1 ディストーション発生用多孔板



多孔板	$h_1/H$	$h_2/H$	取付位置
$A_1$	0.154	—	外壁側
$A_2$	0.275	—	"
$A_3$	0.396	—	"
$B_1$	—	0.125	内壁側
$B_2$	—	0.246	"
$B_3$	—	0.367	"

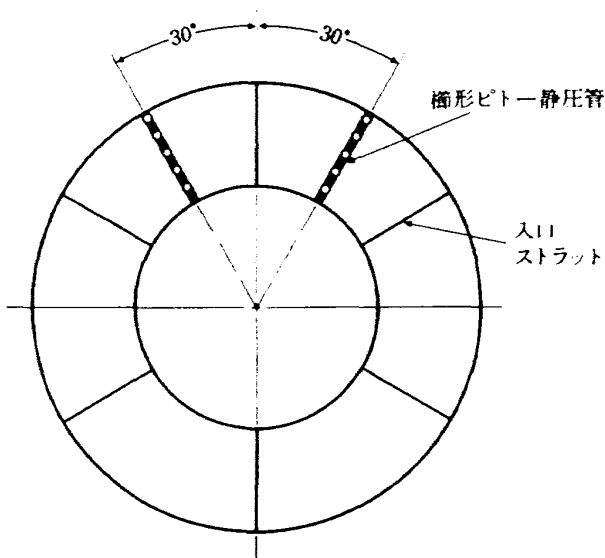


図4 楕形ピトー静圧管の取付位置

#### 4. 入口流速分布

圧縮機の性能試験は、表2に示すように、ディストーション発生装置の有無および多孔板の組合せの異なる9条件(Ⅰ~Ⅳ<sub>b</sub>)について行った。図5は圧縮機の出口絞り弁開度を一定に保ったときの、回転数 $N/N_* = 30, 50, 70\%$ における入口流速の半径方向の分布を各条件について示したものである。また、インレットディストーションの大きさを次式で定義したディストーション率

$$\phi = \frac{V_{max} - V_{min}}{\bar{V}}$$

で表すと、 $\phi$ と平均流速 $\bar{V}$ の関係は図6のようにな

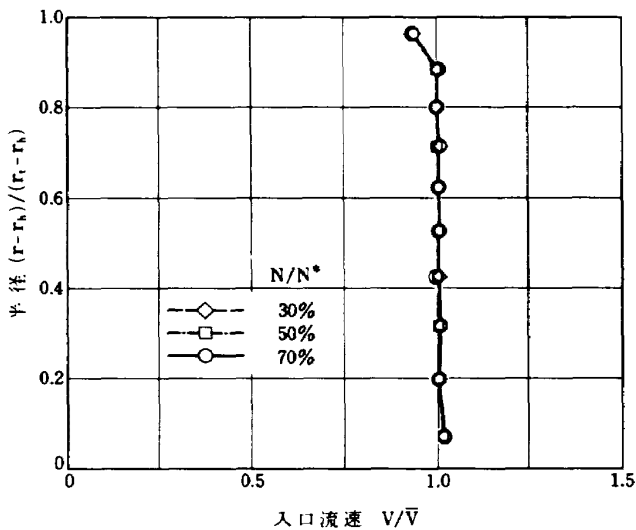
る。図 5 および図 6 より，同一条件では，入口流速の半径方向の分布は平均流速が変化してもほぼ相似形を保ち，ディストーション率  $\phi$  はほぼ一定となることがわかる。各条件における入口流速の半径方向の分布は次のようになる。

I (ディストーション発生装置なし) では，入口流速は外壁のごく近傍を除くとほぼ一様とみなすことができ，ディストーションの影響はほとんど無視できる。以下，条件 I をディストーションのない場合とみなす。

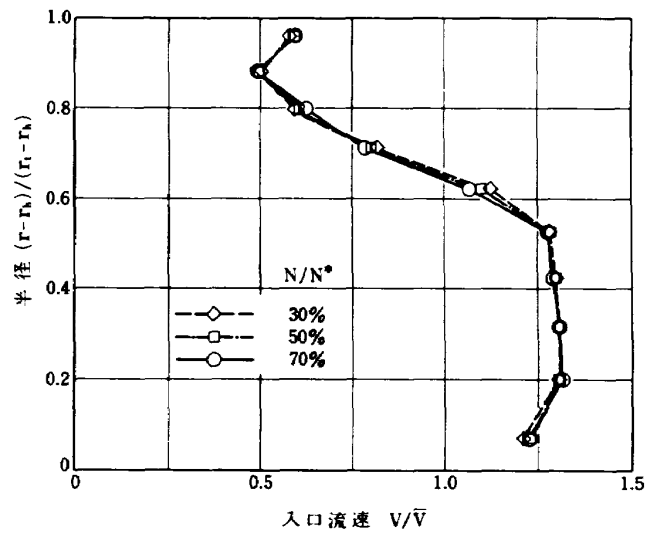
II<sub>a</sub> ~ II<sub>c</sub> (外壁側に多孔板を取付け) は，速度欠損のある部分が流路外壁側の約 40% (II<sub>a</sub>) ~ 70% (II<sub>c</sub>)，ディストーション率  $\phi$  が  $0.48 \leq \phi \leq 0.52$  (II<sub>a</sub>) ~  $0.85 \leq \phi \leq 0.90$  (II<sub>c</sub>) となっている。こ

表 2 試験条件

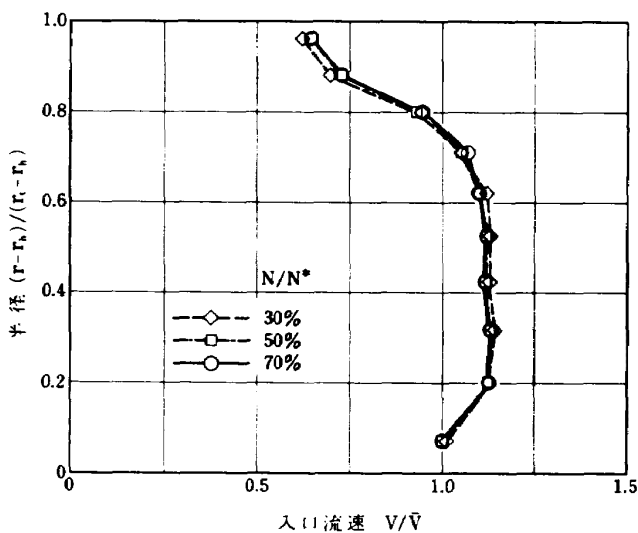
試験条件	多孔板	ディストーション率 $\phi$	ディストーション位置
I	なし	$0.08 <$	—
II <sub>a</sub>	A <sub>1</sub>	$0.48 \sim 0.52$	外壁側
II <sub>b</sub>	A <sub>2</sub>	$0.81 \sim 0.82$	"
II <sub>c</sub>	A <sub>3</sub>	$0.85 \sim 0.90$	"
III <sub>a</sub>	B <sub>1</sub>	$0.45 \sim 0.49$	内壁側
III <sub>b</sub>	B <sub>2</sub>	$0.81 \sim 0.83$	"
III <sub>c</sub>	B <sub>3</sub>	$0.83 \sim 0.84$	"
IV <sub>a</sub>	A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub>	$0.51 \sim 0.56$	内・外壁側
IV <sub>b</sub>	A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub>	$0.82 \sim 0.85$	"



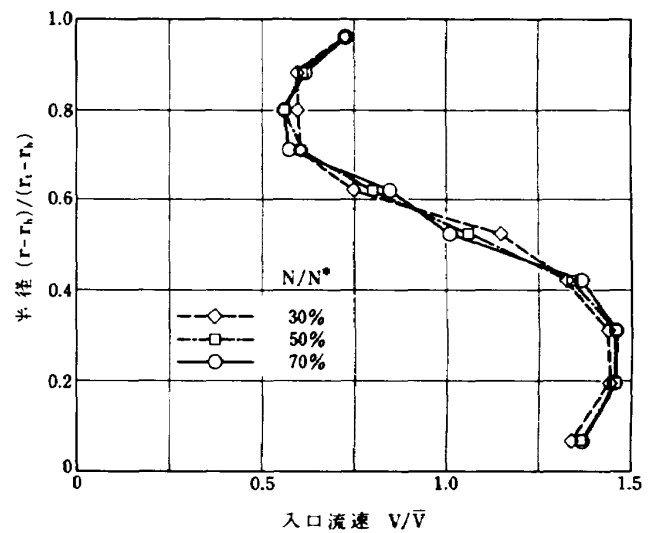
(a) 試験条件 I



(c) 試験条件 II<sub>b</sub>

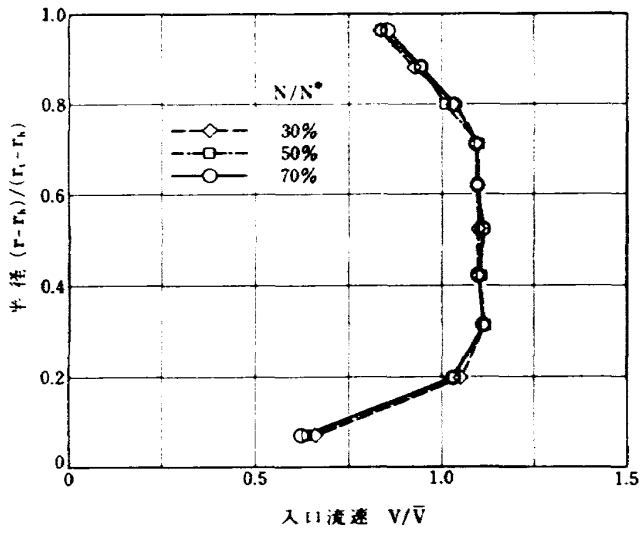


(b) 試験条件 II<sub>a</sub>

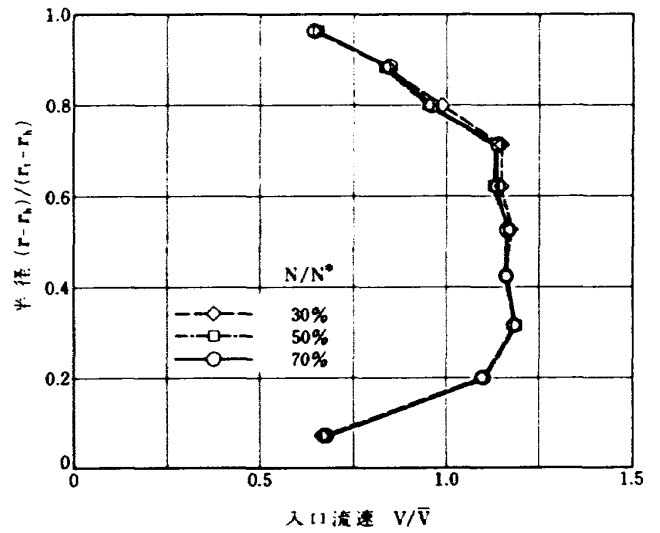


(d) 試験条件 II<sub>c</sub>

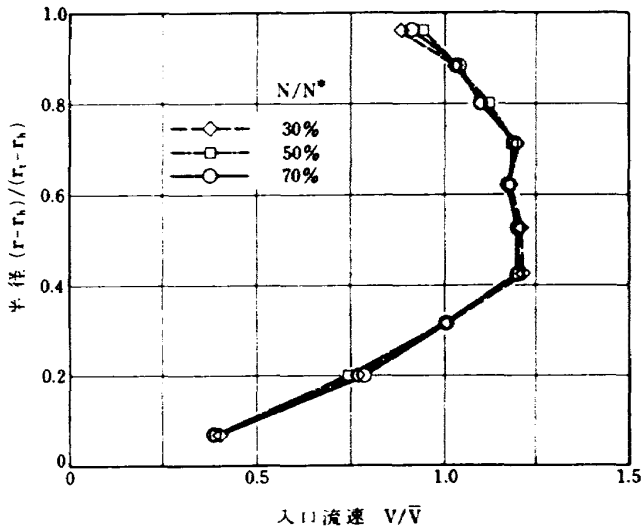
図 5 入口流速分布



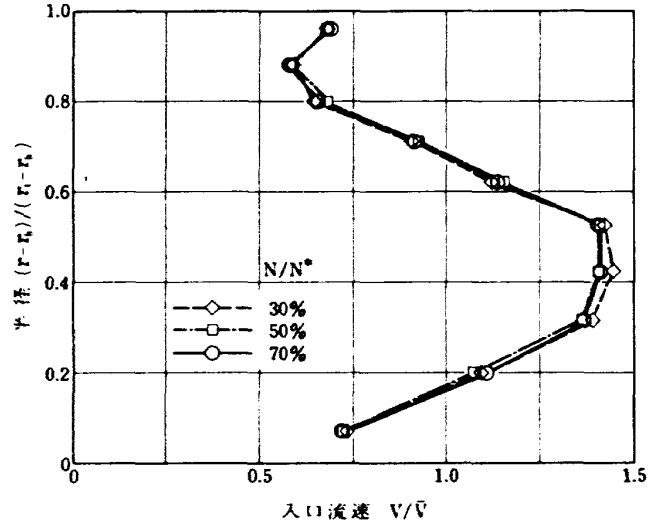
(e) 試験条件 III<sub>a</sub>



(h) 試験条件 IV<sub>a</sub>

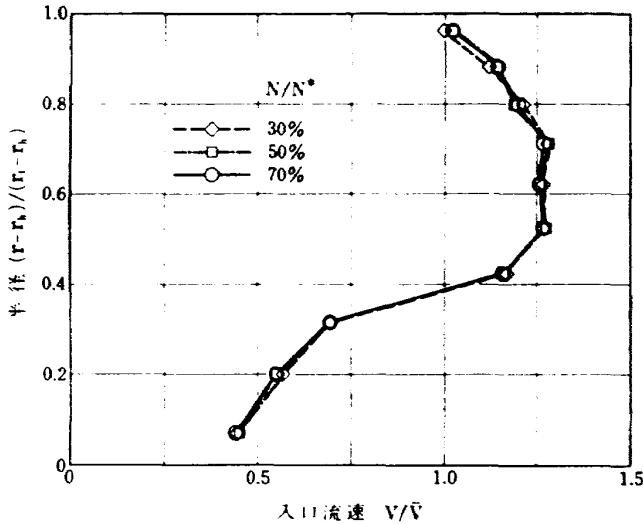


(f) 試験条件 III<sub>b</sub>

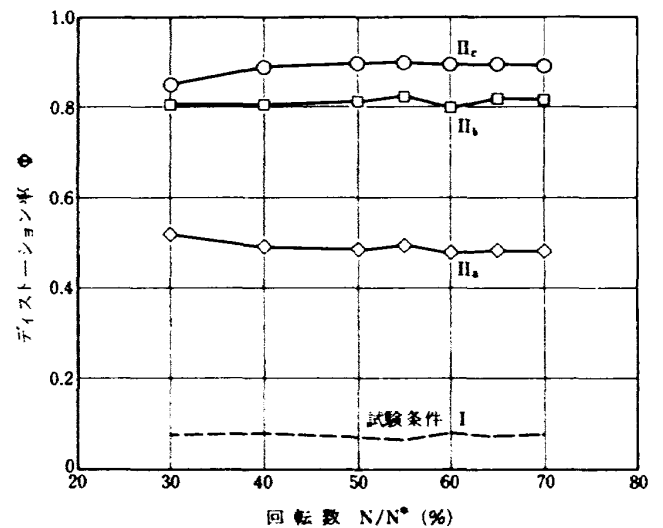


(i) 試験条件 IV<sub>b</sub>

図5 (続き)



(g) 試験条件 III<sub>c</sub>



(a) 試験条件 I, I<sub>a</sub>~I<sub>c</sub>

図6 ディストーション率

図5 (続き)

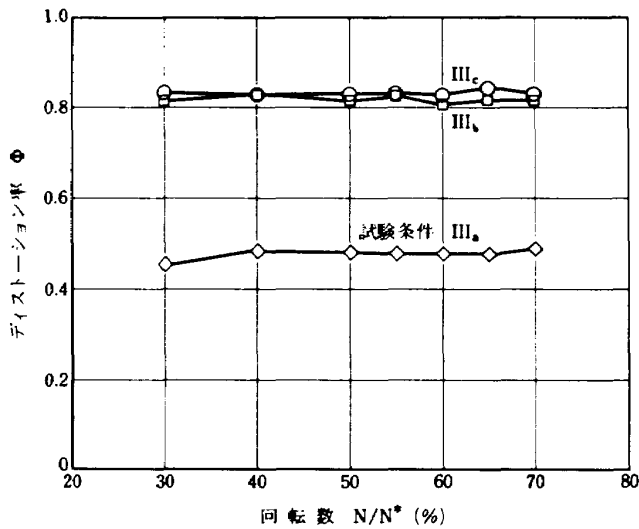
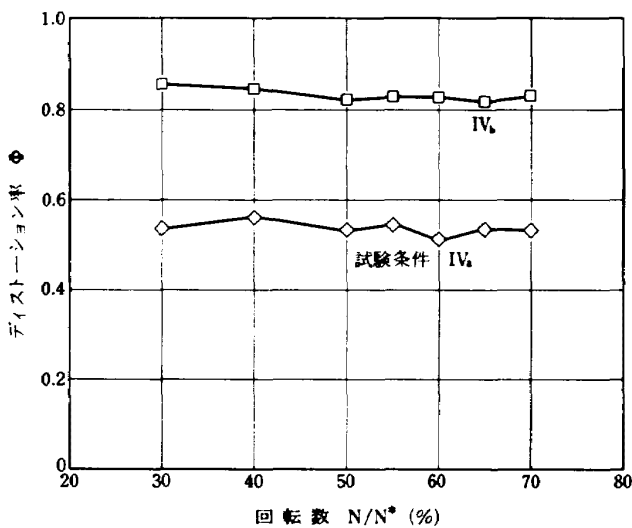
(b) 試験条件 III<sub>a</sub> ~ III<sub>c</sub>(c) 試験条件 IV<sub>a</sub>, IV<sub>b</sub>

図 6 (続き)

の場合、多孔板取付枠の影響により内壁近傍でも流速が低下している。

III<sub>a</sub> ~ III<sub>c</sub> (内壁側に多孔板を取付け) は、速度欠損のある部分が流路内壁側の約 30% (III<sub>a</sub>) ~ 50% (III<sub>c</sub>)、ディストーション率  $\phi$  が  $0.45 \leq \phi \leq 0.49$  (III<sub>a</sub>) ~  $0.83 \leq \phi \leq 0.84$  (III<sub>c</sub>) となっている。この場合では、外壁側でも多孔板取付枠の影響が大きく、流路外壁側の約 30% の部分で流速が低下している。

IV<sub>a</sub>, IV<sub>b</sub> (内壁側、外壁側とも多孔板を取付け) は、流路の内壁側および外壁側ともに速度欠損がある場合で、速度欠損のある部分は内壁側、外壁側それぞれ約 30%、30% (IV<sub>a</sub>) および 50%、40% (IV<sub>b</sub>)

となっており、ディストーション率は  $0.51 \leq \phi \leq 0.56$  (IV<sub>a</sub>) および  $0.82 \leq \phi \leq 0.85$  (IV<sub>b</sub>) となっている。

## 5. 試験結果

圧縮機入口の流れが前記の 9 条件 (I ~ IV<sub>b</sub>) の場合について、供試圧縮機の空力性能試験を回転数  $N/N_*$  が 70% 以下の範囲で行い、次のような試験結果を得た。

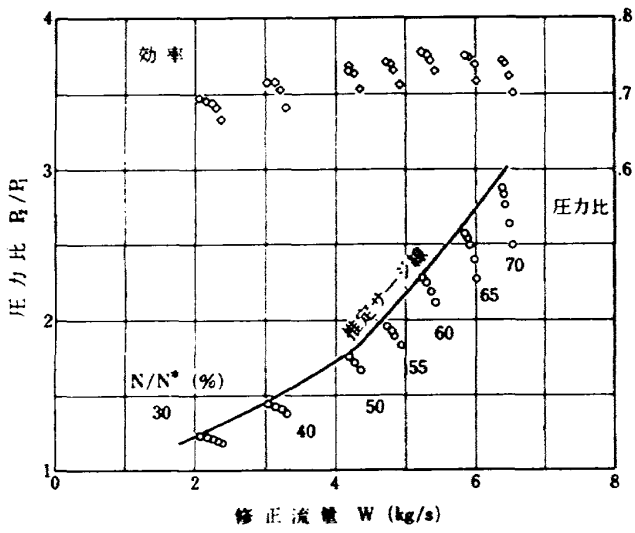
### 5.1 性能および効率

性能および効率の試験結果を図 7 に示す。図中にサージ線を実線で、また、ディストーションのない場合 (I) での性能、効率およびサージ線を破線および一点鎖線で示す。但し、本試験では、動翼に貼付した歪ゲージの破損を防ぐためにサージ線を見て試験を行ったため、図に示したサージ線は流量と圧力比の測定値および変動圧力の観察結果から推定したものである。ディストーションがある場合 (II<sub>a</sub> ~ IV<sub>b</sub>) の試験結果は次のようなものである。

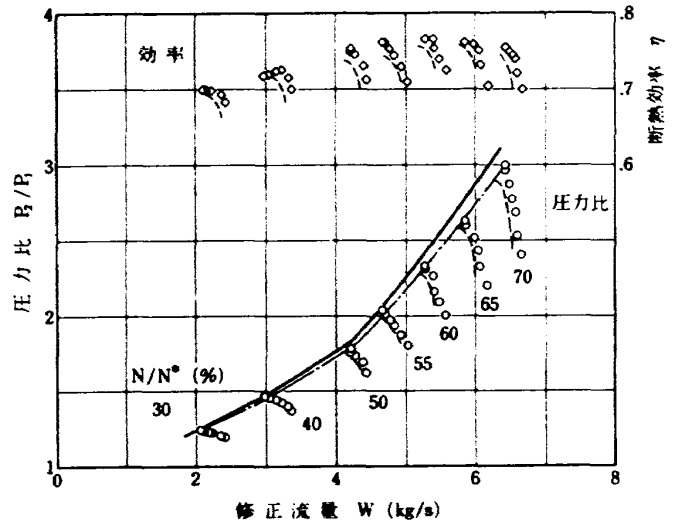
外壁側に速度欠損がある場合 (II<sub>a</sub> ~ II<sub>c</sub>)、ディストーション率  $\phi$  の最も少ない II<sub>a</sub> では、ディストーションのない場合 (I) と比較して、各回転数で流量と最大圧力比が増加しているが、サージ線はほとんど変化していない。II<sub>b</sub> でも II<sub>a</sub> とほぼ同様な結果となっている。しかし、ディストーション率  $\phi$  がさらに増加した II<sub>c</sub> では、II<sub>a</sub> より流量が減少し、サージ線は小流量側へ移動している。各条件において、効率は I よりも高くなっている。

内壁側に速度欠損がある場合 (III<sub>a</sub> ~ III<sub>c</sub>)、ディストーション率  $\phi$  の最も少ない III<sub>a</sub> では、ディストーションのない場合 (I) と比較して、流量と最大圧力比が増加しているとともに、サージ線は僅かに小流量側に移動している。ディストーション率  $\phi$  がより大きな III<sub>b</sub> ではその傾向がさらに強まっている。しかし、 $\phi$  がさらに増加した III<sub>c</sub> では、流量はさらに増加しているが、サージ線は I より大流量側に移動している。これらの条件でも II<sub>a</sub> ~ II<sub>c</sub> と同様に効率は I よりも高くなっている。

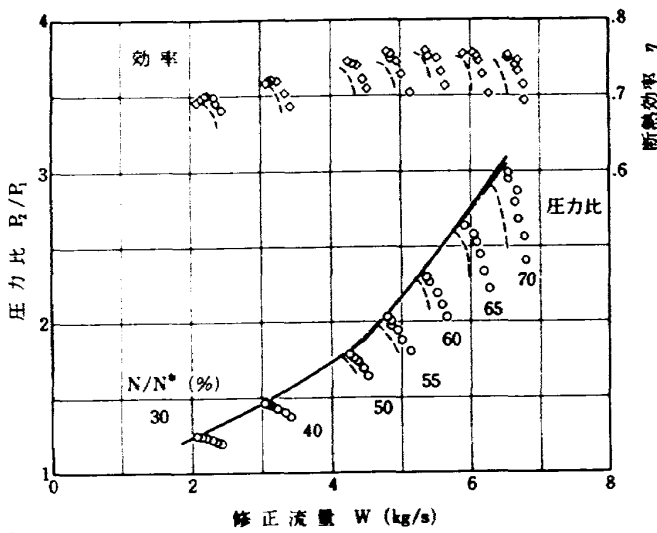
内壁側、外壁側ともに速度欠損がある場合 (IV<sub>a</sub>, IV<sub>b</sub>)、IV<sub>a</sub> と IV<sub>b</sub> はほぼ同様な結果を示しており、デ



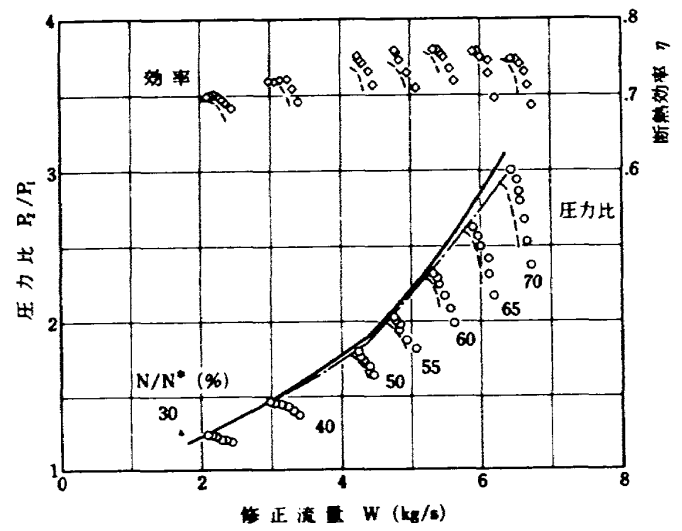
(a) 試験条件 I



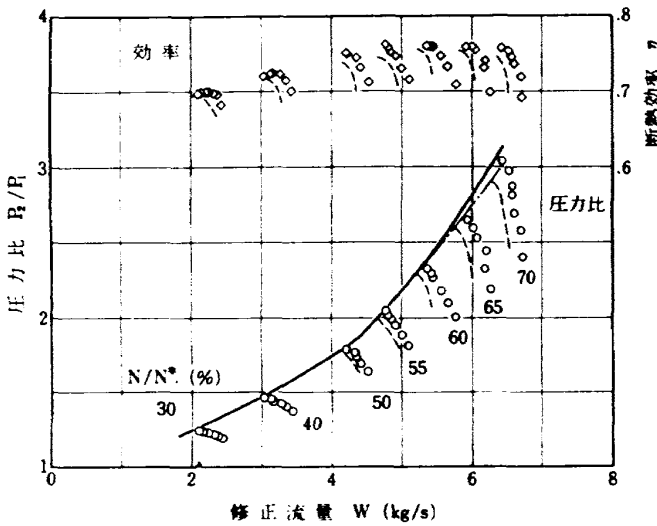
(d) 試験条件 Ic



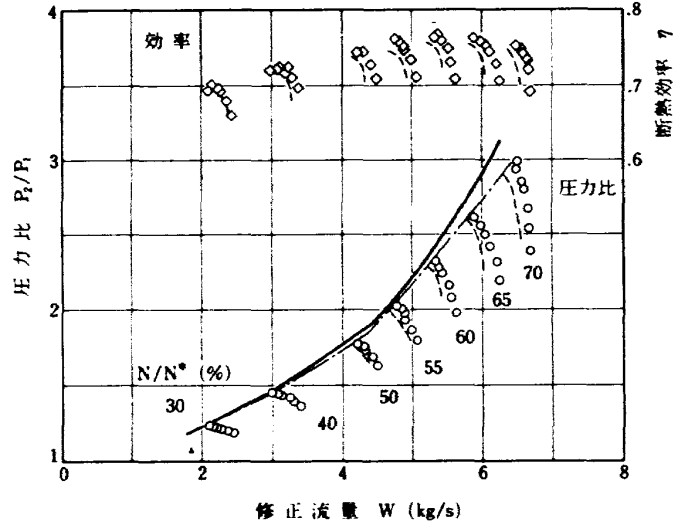
(b) 試験条件 IIa



(e) 試験条件 IIIa



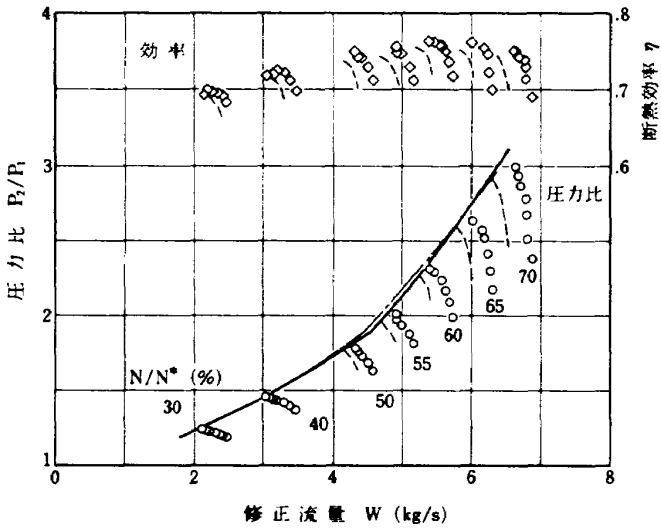
(c) 試験条件 IIb



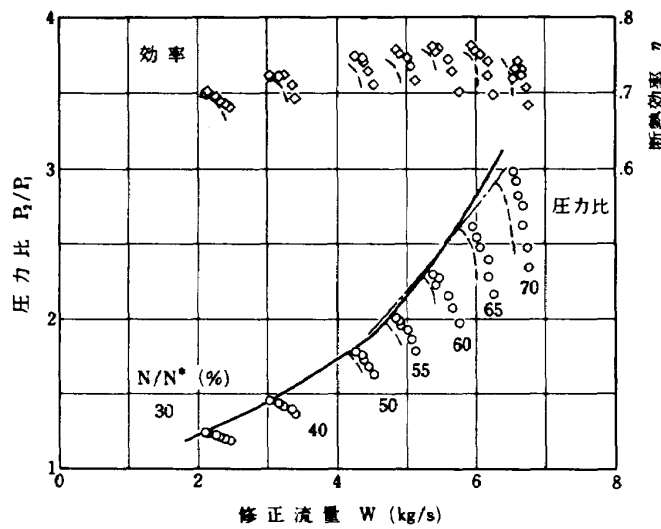
(f) 試験条件 IIIb

図7 性能および効率

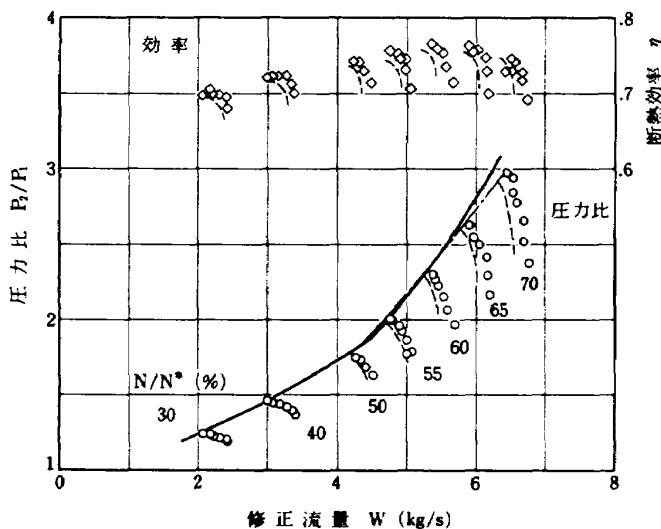




(g) 試験条件Ⅲ<sub>c</sub>



(h) 試験条件Ⅳ<sub>a</sub>



(i) 試験条件Ⅳ<sub>b</sub>

図 7 ( 続き )

ィストーションのない場合(1)より流量は増加し、効率は高くなっているが、サージ線は回転数  $N/N_*$  が 50 ~ 60 % では大流量側に、60 % 以上では小流量側に移動している。

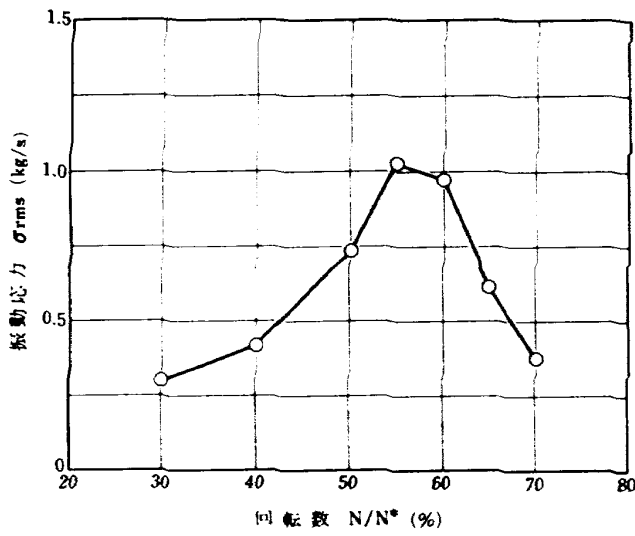
以上の結果は、本試験の範囲(ディストーション率  $\phi$  が  $0.45 \leq \phi \leq 0.90$  で、速度欠損が流路内壁側、外壁側またはその双方にある場合で、回転数  $N/N_* \leq 70\%$  の範囲)において、インレットディストーションのある場合の性能および効率はディストーションのない場合を上まわっており、作動範囲が拡大する場合もあることを示している。

各条件での試験結果を総合すると次のようなことがわかる。即ち、ディストーションがある場合に流量が増加しているのは、ディストーションの発生により、圧縮機入口において、流路中央部から外周部にかけての流速が増大するため、流量の増加には、流速の増大する範囲と流速の大きさとが関係している。その理由は次のように考えられる。

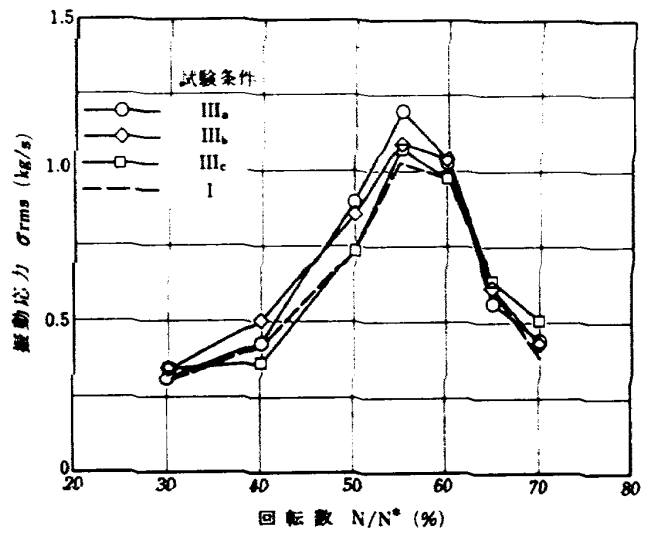
本試験の場合のように圧縮機がきわめて低速で作動していると、圧縮機の翼列の相当な部分が正または負の失速状態となっている。このような状態でインレットディストーションが生じると、圧縮機前段では部分的に軸流速度が増大または減少するが、流路中央部から外周部にかけて軸流速度が増大した場合に前段の翼列の失速が緩和され、翼列としての作動状態が改善されることにより流量が増加し、効率も高くなると考えられる。

### 5.2 翼の振動応力

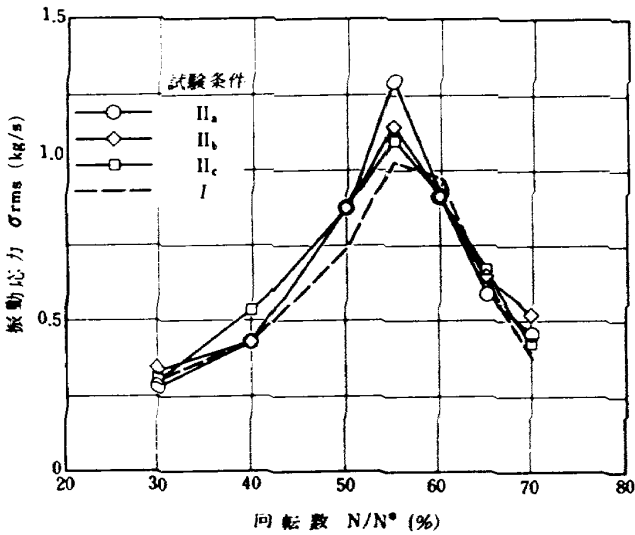
インレットディストーションが軸流圧縮機の実用性に及ぼす影響の中で、性能、作動範囲の変化とともに重要な問題は翼の振動応力の変化である。図 8 および図 9 は、ディストーションの影響を最も受けやすい第 1 段動翼と、その影響がやや緩和されると考えられる第 4 段動翼の振動応力の解析結果である。本試験のような低速で作動している圧縮機の翼振動はきわめて不安定である。そこで、翼の振動応力を 1 秒間の自乗平均値  $\sigma_{rms}$  で表わし比較した。この場合、翼の一次の曲げ振動による制限値(両振幅で  $\sigma_F \times \frac{1}{4} \times 0.75$ ,  $\sigma_F$  は材料の疲れ限度)は第 1 段動翼で  $2.8 \text{ kg/mm}^2$ , 第 4 段動翼で  $1.8 \text{ kg/mm}^2$  となる。



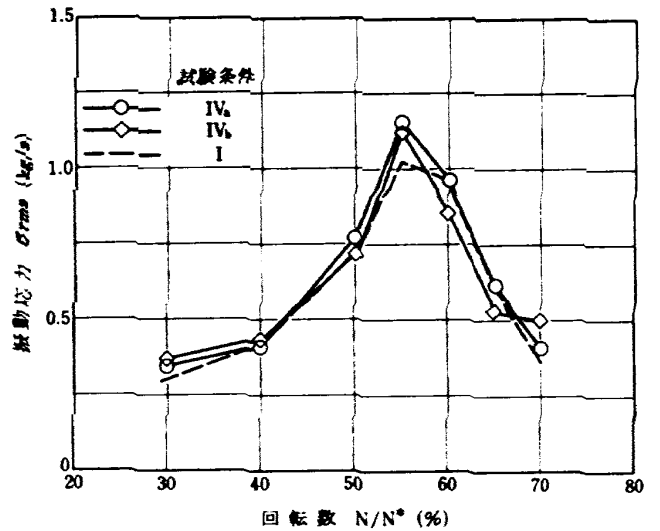
(a) 試験条件 I



(c) 試験条件 III<sub>a</sub> ~ III<sub>c</sub>

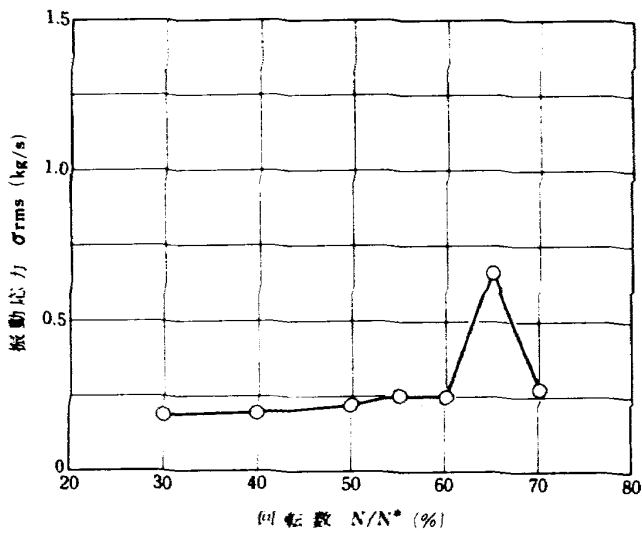


(b) 試験条件 II<sub>a</sub> ~ II<sub>c</sub>

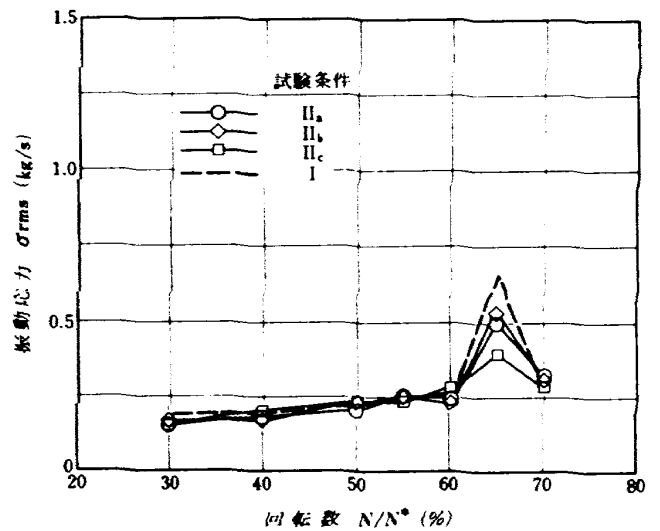


(d) 試験条件 IV<sub>a</sub>, IV<sub>b</sub>

図8 第1段動翼の振動応力



(a) 試験条件 I



(b) 試験条件 II<sub>a</sub> ~ II<sub>c</sub>

図9 第4段動翼の振動応力

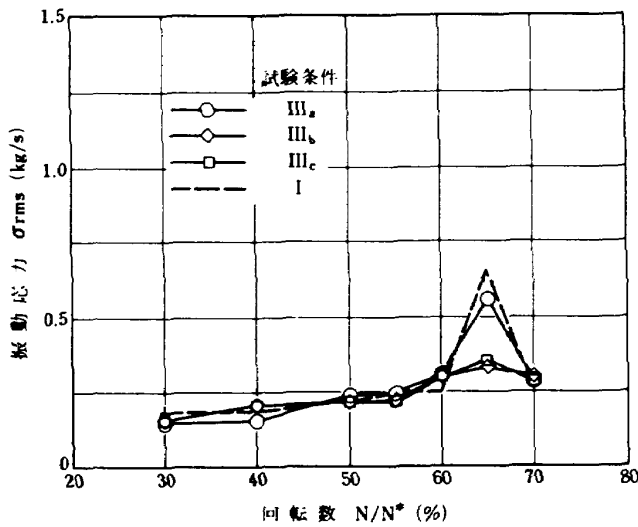
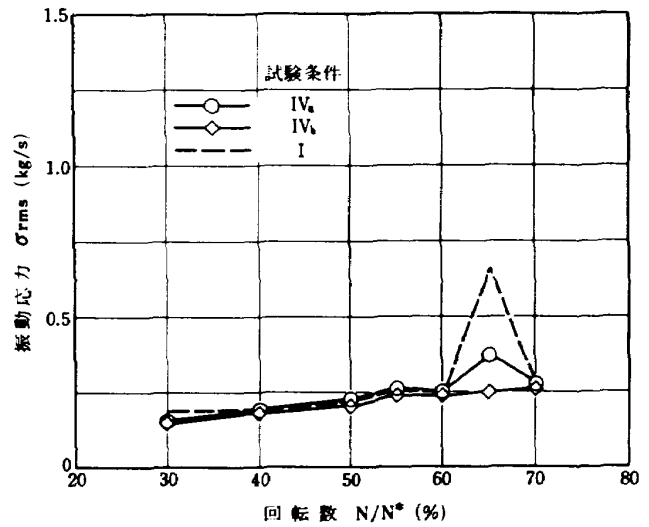
(c) 試験条件 III<sub>a</sub> ~ III<sub>c</sub>(d) 試験条件 IV<sub>a</sub>, IV<sub>b</sub>

図9 (続き)

第1段動翼の場合(図8), 回転数 $N/N_*$ が60%以下の範囲で, インレットディストーションによりやや翼の振動応力が増大しているのが認められるが, 応力の制限値には十分な余裕があることがわかる。

第4段動翼の場合(図9)には, 翼の振動応力にはインレットディストーションの影響は認められず(回転数 $N/N_*$ が65%において, 応力が増大しているのは, 圧縮機の駆動系の振動に翼が機械的に共振したためで, 当試験設備固有の現象), 応力は常に低レベルに保たれている。

以上の結果は, インレットディストーションが翼の振動応力に及ぼす影響は実用上, 支障のない程度であることを示している。

## 6. 結 論

高圧圧縮機空力試験機HC-20改のインレットディストーション試験を行った結果, 圧縮機回転数 $N/N_*$ がほぼエンジンのアイドル時に相当する70%以下の範囲で, 入口流速の半径方向分布にディストーション率 $\phi$ が0.9以下のディストーションがある場合, ディストーションが圧縮機の特性に及ぼす影響について, 次のようなことが明らかになった。

インレットディストーションのない場合に比較して,

- (1) 圧縮機入口において, 流路外壁側, 内壁側またはその双方の流速に速度欠損がある場合, 一定回転数における流量および最高圧力比は増加する。
- (2) 上記の場合, 効率は向上する。
- (3) 作動範囲の変化はインレットディストーションのパターンによって異なる。
- (4) 翼の振動応力への影響は少ない。

以上のように, 一般の予想とは異なる結果が得られた。これは, 本試験の範囲が圧縮機的设计点より大きく隔った低速域で, 本来, 翼列の相当な部分が失速した状態にあるためであり, 設計点付近の高速域での試験では全く異なる結果が得られるものと考えられる。

試験に際して御協力を頂いた, 空気源担当の小倉氏および石川島播磨重工(株)の方々に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 大山耕一, 菅原 昇, 他; ファンエンジン用高圧圧縮機の研究(8)空力試験機HC-20改, 航技研資料 TM-510
- 2) 大山耕一, 菅原 昇; 高圧力比圧縮機試験装置, 航技研報告 TR-536 (1978/6)

---

## 航空宇宙技術研究所資料 511号

昭和 58 年 5 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 株式会社 東京プレス  
東京都板橋区桜川 2 - 27 - 12

---

