

UDC 626.178.322.3

航空宇宙技術研究所資料

TM-96

2024-T4 および 7075-T6 有孔平板の曲げ疲労
試験と 2024-T4 平滑丸棒の軸荷重疲労試験

佐野政明・菰岡一洋

1966年11月

航空宇宙技術研究所

既 刊 資 料

TM-30	二段式ロケット飛しょう体の揚力および圧力中心推定法	1964年3月	小橋安次郎, 宮沢政文
TM-31	亜音速ジェット輸送機の遷音速風洞における試験	1964年3月	河崎俊夫, 竹内理
TM-32	遷音速風洞の防音	1964年4月	牛田健二, 高橋宏義
TM-33	非定常境界層の遷移の研究に使用された定温度型熱線風速計について	1964年4月	榎並敬之, 山本稀義
TM-34	極超音速風洞ノズルの境界層補正について	1964年5月	長洲秀夫
TM-37	気体の不完全性を考慮した極超音速風洞ノズルの設計計算法	1964年5月	毛利浩
TM-38	AGARD-A 標準模型の超音速三分力試験	1964年6月	高木廣治, 斎藤秀夫 石原久蔵
TM-39	相似極超音速流におかれた半球面上の境界層の遷移に及ぼす粗さと冷却の結合影響	1964年7月	石井孝雄
TM-40	国産中型輸送機 YS-11 胴体疲労試験 (I)	1964年9月	竹内和之, 川島矩郎
TM-41	抵抗線歪ゲージのゲージ率測定	1964年10月	畑浄治, 大坪孔治 滝沢実次
TM-42	実在着氷条件の測定について	1964年10月	古閑昌次, 田寺木一 日出夫
TM-44	高負荷燃焼器 (アニューラ模型) の実験結果	1964年12月	塚本貞吉, 鈴木邦男 大松本宏, 石井浅五郎 広中強之, 山藤国雅 竹内和之, 枝郭俊一 幸尾治朗
TM-46	翼洞結合金具の疲労特性	1964年12月	
TM-47	ローター後流中のヘリコプター胴体の抵抗について	1965年1月	
TM-48	極超音速風洞用ペブル加熱器の予備実験	1965年2月	平木一, 橋本登崇 林二識, 吉永 山口富夫, 岡遠一 幸尾治朗, 岡鎌田幸男 照井祐之, 一武敏 井中一夫, 高島明史 谷日出夫, 高近藤洋 原亘利, 近藤
TM-49	Queen-Air 機の失速特性について	1965年2月	
TM-50	LS-A 型ロケットの曲げ剛性および振動試験について	1965年5月	
TM-51	超音速風洞空力データ表示記録装置	1965年5月	
TM-53	ベクトルのノルムと行列のノルム —数値解法の収束条件その他への応用—	1965年5月	
TM-54	熱衝撃試験用風洞整備試験	1965年5月	武藤洋治郎, 池田為治 坂元思無邪, 光山敏雄 河崎俊夫, 河谷
TM-55	ロケット模型風洞試験における超音速相似則の応用	1965年5月	
TM-56	2024-T4アルミニウム合金平滑丸棒の常温回転曲げ疲労試験	1965年7月	石田誠, 河野哲雄
TM-57	極超音速における軸対称物体の前面抵抗	1965年7月	曾我国男
TM-58	試験用飛しょう体の超音速風洞実験	1965年8月	斎藤秀夫, 木村友昭 近藤博, 増田惣平
TM-59	ジェットリフトエンジン空気取入口の実験 (I)	1965年9月	
TM-60	吹出式超音速風洞における実験データの処理方式について (II)	1965年9月	原亘利, 高島明夫 関根英夫, 中 戸川保子, 一 広末健雄, 矢沢健司 塚野四郎, 田村征一 佐野四郎, 能村実 別府信宏
TM-61	クインエア機の風洞試験	1965年9月	
TM-62	高温歪ゲージの温度特性試験	1965年10月	
TM-63	2024-T3アルミニウム合金の有孔補強平板の軸荷重による疲労特性	1965年10月	飯田宗一郎
TM-64	応力集中による材料の疲れ強さに関する一実験 (I)	1965年10月	池田為治, 坂元思無邪 光山敏雄, 宮地敏雄 武内澄昌, 二 星谷昌二, 隆 斎藤隆, 堀内正司 中村浩子, 計測部 機体第一部, 計測部 原動機部, 計測部 戸川隼人, 石黒登美子
TM-65	ジェットエンジンの翼の固有振動に関する実験	1965年11月	
TM-69	質量分析計による水蒸気を含む試料のガス分析	1965年12月	
TM-71	可動アイアンバードの構造および機能	1965年12月	
TM-72	地上付近の風の影響による小型ロケットの姿勢角変化	1965年12月	
TM-73	固定端を有する薄肉円筒殻の自由振動について	1966年1月	田寺木一, 泉日出夫
TM-74	回転振動試験装置の計画, 構造および特性	1966年2月	武内澄夫, 宮地敏雄 星谷昌二

2024-T4 および 7075-T6 有孔平板の曲げ疲労試験と 2024-T4 平滑丸棒の軸荷重疲労試験*

佐野政明**・菰岡一洋***

まえがき

本資料は軽合金材料の疲労に関するデータ集積の一助として次の二種類の疲労試験を行ないその結果について述べたものである。

(1) 有孔平板の曲げ疲労試験

(2) 平滑丸棒の軸荷重疲労試験

(1)においては2024-T4および7075-T6アルミニウム合金材の有孔平板試験片を用いて疲労寿命に対する板厚と平均応力の影響を、また(2)においては2024-T4アルミニウム合金材の平滑丸棒試験片を用いて平均応力の影響をそれぞれ調べた。

1. 有孔平板の曲げ疲労試験

1.1 試験片および試験機

試験片は2024-T4および7075-T6アルミニウム合金の2m×1mの平板母材より採取した。板厚は3mm, 4mm, 5mmの三種類である。試験片の形状および寸法を図1に示す。直径10mmの中央円孔はリーマによって仕上げを行なった。

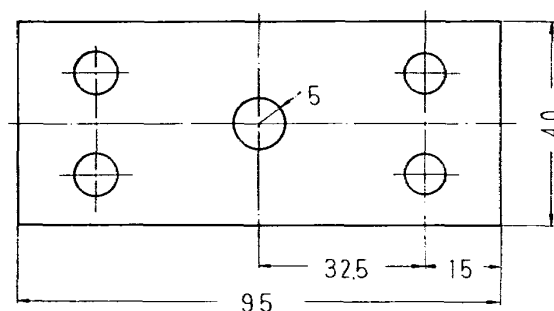


図1 試験片の形状および寸法

* 昭和41年10月15日受付

** 機体第二部

*** 岩手県立福岡高等学校（元機体第二部）

両材料の機械的性質を調べるために板幅70mmの平板試験片を用いて引張り試験を行ないその結果を表1に示す。なお引張り用試験片と疲労用試験片とは同一母材より採取した。

表1 機械的性質 (平板試験片)

材 料	$\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	伸び(%)
2024-T4	34.9	48	20
7075-T6	51	58	11

使用した試験機は図2に示すようなシェンク型曲げねじり疲労試験機で、おもな要目は次のとおりである。

- | | |
|----------------|----------|
| (1) 最大総合モーメント | 4kg-m |
| (2) 最大繰返しモーメント | 3.8kg-m |
| (3) 最大角度振幅 | 0.47rad |
| (4) 荷重繰返し数 | 2,880rpm |
| (5) 最大駆動軸トルク | 0.7kg-m |

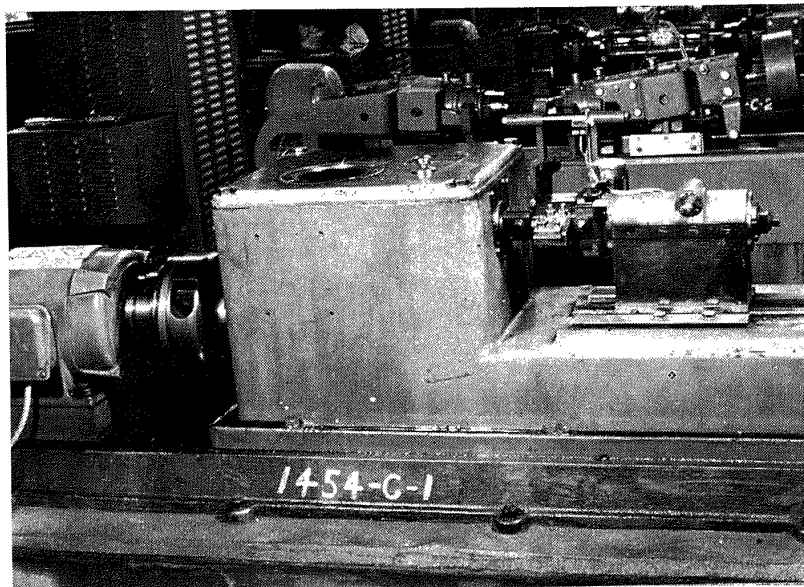


図2 シェンク型曲げねじり疲労試験機

1.2 試験条件

本試験において選定した称呼应力と、非対称係数 R で表わした負荷型式とを表2に示す。称呼应力 S は板厚を t 、曲げモーメントを M 、最小断面の板幅を b として

$$S = \frac{6M}{bt^2} \quad (1)$$

から計算した。負荷型式を表わす非対称係数 R は

表 2 曲げ疲労試験応力と負荷型式

板厚	3 mm		4 mm	5 mm
負荷型式	$R = 0$	$R = -1$	$R = -1$	$R = -1$
称 呼 応 力 ($S \text{ kg/mm}^2$)	—	8	8	8
	—	10	10	10
	15	15	15	15
	20	20	—	—
	25	25	—	—
	30	30	—	—

$$R = \frac{\text{繰返し応力の最小値}}{\text{繰返し応力の最大値}} \quad (2)$$

で定義され、本試験に用いられた $R = 0$ は片振りを、また $R = -1$ は両振りをそれぞれ表わしている。

表 2 に示される一つの応力段階と負荷型式ごとに無作為に抽出した 10 個の試験片について疲労試験を行なった。なお中央円孔による曲げに対する応力集中係数は、試験片を無限に長い帯板と仮定して計算すると¹⁾、(1)式によって計算される称呼応力 S に対して 1.4 となる。

1.3 結果と考察

$S-N$ 曲線を図 3 ないし図 6 に示す。曲線は一応力段階ごとの対数寿命の平均値を繰返し数 N に変換したものをなめらかに通るように引いたものである。

図 3 および図 4 はそれぞれ 2024-T4 および 7075-T6 の板厚 3 mm の試験片に対して、両振り ($R = -1$) の場合と片振り ($R = 0$) の場合の比較を示す。繰返し応力の最大値で表わした時間強度は通常知られているとおり、両振りのほうが片振りの場合に比して低い値を示している。ばらつき程度の示すために個々の実験値を黒丸でプロットした。なお黒丸に付した数字は同じ点に重なった個数を表わす。

対数寿命が正規分布をすると仮定して、母平均の 95% 信頼区間および試験片の $(1-p)$ % 以上が破壊を起こさないであろう限界の繰返し数 x_p を推定し $S-N$ 曲線とともに図示した。まず母平均 μ の信頼区間は信頼係数を $(1-\alpha)$ として

$$\hat{x} - \frac{s}{\sqrt{n-1}} t_{n-1}(\alpha) \leq \mu \leq \hat{x} + \frac{s}{\sqrt{n-1}} t_{n-1}(\alpha) \quad (3)$$

によって定めた。ここに \hat{x} および s はそれぞれ対数寿命の平均値および標準偏差、 n は試料数、 $t_{n-1}(\alpha)$ は自由度 $(n-1)$ の t 分布で $P\{|t| > t_{n-1}(\alpha)\} = \alpha$ となる値である。本試験の場合 95% の信頼係数に対して $t_{n-1}(\alpha) = t_9(0.05) = 2.26$ となる。図 3 および図 4 に (3) 式によって得られる μ の推定

区間の上限および下限を破線によって示した。一方、 x_p については試料数があまり多くなくこれらから推定した母平均や母分散の値は正確であるとは言い難い。それゆえに Kennedy の方法²⁾ を用いて信頼度 $(1-\beta)$ を導入し x_p の推定を行なった。すなわち母平均 μ 、母標準偏差 σ の正規母集団から n 個の試料を取って得られる $(\hat{x}-k\hat{\sigma})$ の分布は近似的に平均値 $(\mu-k\sigma)$ 、分散 $\sigma^2 \left\{ \frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)} \right\}$ の正規分布をすることから

$$k\sigma = k_p\sigma + k_\beta\sigma\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}} \quad (4)$$

となる。(4)式を k について解くと

$$k = \frac{k_p + k_\beta\sqrt{\frac{1}{n} \left\{ 1 - \frac{k_\beta^2}{2(n-1)} \right\} + \frac{k_p^2}{2(n-1)}}}{1 - \frac{k_\beta^2}{2(n-1)}} \quad (5)$$

ただし

$$p = \int_{-\infty}^{-k_p} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx$$

$$\beta = \int_{-\infty}^{-k_\beta} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx$$

となる。ゆえに求める繰返し数 x_p は

$$x_p = \hat{x} - k\hat{\sigma} \quad (6)$$

ただし

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x})^2}$$

または

$$\text{antilog } x_p = N_p \quad (7)$$

にて表示される。

図3および図4に非破壊確率 $(1-p)=95\%$ 、信頼度 $(1-\beta)=90\%$ としたときの安全寿命曲線を(7)式より求め一点鎖線にて示す。また表3には $(1-\beta)=90\%$ としたとき、 n 、 p の値に対する k の値を示す。

図5および図6はそれぞれ2024-T4および7075-T6の試験片に対して、板厚を3mm、4mm、5mmの三種類に変化させた場合の寿命の比較を示したものである。個々の試験片に対する寿命の実測値を表4ないし表5に示す。図を見ると一応力段階ごとに10個の試験片の対数寿命の平均値は各板厚ごとに別々の曲線で結ばれるようであり、いわゆる寸法効果の影響と思われる傾向が見られる。しかしある応力段階における個々の試験片の寿命は各板厚のものが互いに入り交っている

表 3 $(1-\beta)=90\%$ のときの k の値

試料数	破 壊 確 率 p					
	0.5	0.1	0.01	0.002	0.001	0.0005
3	0.964	3.873	6.660	8.166	8.745	9.298
5	0.644	2.585	4.400	5.383	5.763	6.124
7	0.522	2.244	3.822	4.675	5.005	5.317
10	0.426	2.012	3.442	4.212	4.511	4.795
20	0.292	1.754	3.305	3.725	3.990	4.243
∞	0	1.282	2.326	2.878	3.090	3.291

ので、統計的にどの程度の差があると言えるかを調べるために Welch の方法³⁾ によって検定を行なった。すなわち、各応力段階ごとの対数寿命の平均値には板厚による差がないと仮定し、次の条件がなりたつときこの仮説を棄却する。

この条件は

$$t_0 = \frac{(\hat{x} - \hat{\sigma})}{\sqrt{s_1 + s_2}} \quad (8)$$

$$\phi = \frac{(s_1 + s_2)^2}{\left(\frac{s_1^2}{n_1 - 1} + \frac{s_2^2}{n_2 - 1}\right)} \quad (9)$$

ただし

$$s_1 = \frac{1}{n_1(n_1 - 1)} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \hat{x})^2$$

$$s_2 = \frac{1}{n_2(n_2 - 1)} \sum_{i=1}^{n_2} (y_i - \hat{x})^2$$

と置くとき

$$|t_0| > t_\phi(\alpha/2) \quad (10)$$

となることである。ここに $t_\phi(\alpha/2)$ は等価自由度 ϕ の t 分布において $P\{|t| > t_\phi(\alpha/2)\} = \alpha/2$ となる値である。有意水準 α を 5% として検定した結果を表 6 に示す。表中の○印は仮説が棄却されたことを、×印は棄却されないことをそれぞれ表わしている。これによれば 2024-T4 および 7075-T6 の両材料ともに、板厚 3 mm と 4 mm の間もしくは 4 mm と 5 mm の間では積極的に仮説を棄却できない場合があるが、3 mm と 5 mm の間ではすべて仮説が棄却される。この検定は各応力段階ごとに行なったものであること、平均値を結ぶ曲線が互いに交わる傾向を示していないことなどから板厚の影響はかなりはっきりと出ていると考えられる。

表 6 各板厚ごとの対数寿命の差の検定 (有意水準 5%)

2024-T4					7075-T6				
S kg/mm ²	板厚(mm)	判 定	t ₀	t _{φ_s} (α/2)	S kg/mm ²	板厚(mm)	定 判	t ₀	t _{φ_s} (α/2)
8	3~4	×	2.33	2.46	8	3~4	×	1.74	2.59
	4~5	×	2.00	2.68		4~5	○	4.62	2.63
	5~3	○	28.70	2.51		5~3	○	3.89	2.90
10	3~4	×	2.30	2.51	10	3~4	○	3.96	2.51
	4~5	○	5.71	2.47		4~5	○	6.29	2.47
	5~3	○	10.13	2.55		5~3	○	7.99	2.59
15	3~4	○	8.47	2.44	15	3~4	○	6.48	2.50
	4~5	○	3.96	2.59		4~5	×	1.56	2.51
	5~3	○	7.21	2.51		5~3	○	11.96	2.49

次に本試験における寿命のばらつきを示す目安として、板厚 3 mm の場合の母標準偏差 σ の点推定および区間推定 (信頼係数 95%) を行ない、図 7 (a)ないし(d)に示す。ばらつきを他の負荷型式の場合と比較するために、変動係数 $\hat{\sigma}/\hat{\mu}$ を対数寿命の平均値 $\hat{\mu}$ に対してプロットし図 8 に示す。これには比較のために平滑丸棒の常温回転曲げ疲労試験の結果⁴⁾を合わせて図示した。これによれば、ばらつきは一般に本試験のほうが小さい値を示しておりその一つの理由として切欠材と平滑材の差異を考えることができる。

2. 平滑丸棒の軸荷重疲労試験

2.1 試験片および試験機

試験片は 2024-T4 アルミニウム合金で 16mm ϕ × 4 m の丸棒母材より 24 個ずつ旋盤で削り出した。試験片の形状および寸法を図 9 に示す。また機械的性質を調べるために疲労用の試験片を用いて引張り試験を行ないその結果を表 8 に示す。

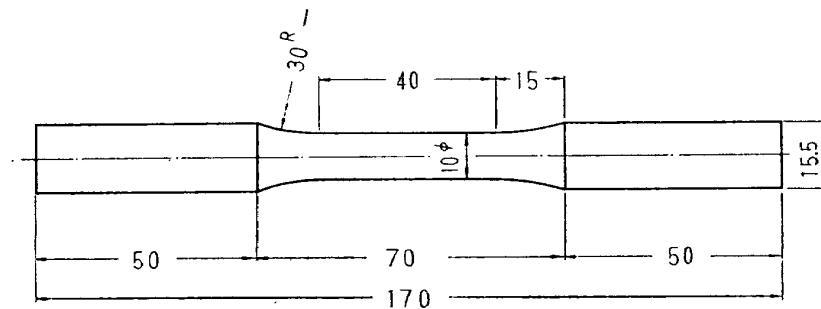


図 9 試験片の形状および寸法

表 8 機械的性質 (丸棒試験片)

材 料	$\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²)	σ_B (kg/mm ²)	伸 び(%)
2024-T4	37	50.9	20

使用した試験機は図10に示すような慣性力型疲労試験機でおもな要目は次のとおりである。

- (1) 最大総合荷重 4,000kg
- (2) 最大繰返し荷重 0~±2,000kg
- (3) 荷重繰返し数 500~2,000rpm
- (4) 最大振幅 ±6 mm

2.2 試験条件

試験片の形状は一定で負荷型式を $R = -1, -0.5, 0, 0.1, 0.3$ の5とおりに変化させた場合の疲労寿命の変化を調べる。一応力段階ごとに3~5本の試験を行なう。

2.3 結果と考察

図11に $R = -1 \sim 0.3$ に対応する $S-N$ 曲線を示すととも個々の試験片に対する実測値を表9(a)ないし(c)に示す。図中の各印は一応力段階ごとに3~5本の試験片の対数寿命の平均値を繰返し数に変換したものである。これによれば最大応力 S_{max} で表わした時間強度は非対称係数 R が小さくなるにつれて低下することがわかる。図12は応力振幅で表わした時間強度を平均応力に対してプロットしたものである。

平板の曲げ試験の場合と同様にばらつきを示す目安として図13(a)ないし(b)に $R = 0.3$ および 0.5 に対応する母標準偏差 σ の点推定および区間推定 (信頼係数95%) を、また図14には $\hat{\sigma}/\hat{\mu} \sim \hat{\mu}$ の関係をそれぞれ示す。

む す び

航空機用アルミ合金による有孔平板の曲げ疲労試験および平滑丸棒の軸荷重疲労試験を行ない、結果を統計的に解析した。疲労試験のおもなる結果を要約すると以下のようになる。

- (1) 平板の曲げおよび平滑丸棒の軸荷重の両試験とも、非対称係数 R の値により疲労特性は異なり、最大応力が同一であっても振幅が大なるほど寿命は低下する。
- (2) 平板の曲げ試験では最大曲げ応力 S および R の値が同一であっても板厚が大なるほど寿命は低下する。
- (3) 変動係数 ($\hat{\sigma}/\hat{\mu}$) を用いてばらつきのようにすを既報の回転曲げ試験⁹⁾と比較すると、軸荷重試験については同様の傾向を示しているが、平板の曲げ試験ではいくぶん小さい値を示す。

文 献

- 1) 王手 統; 一円孔を有する帯板の撓み, 日本機械学会論文集, 20巻99号 (昭和29) pp.687-692
- 2) A. P. Kennedy; A Method for determining the "Safe" Life of an Aircraft Wing from Fatigue Test Result. J. Roy. Aero. Soc. London, Vol 58 (1954/5) pp.361-366
- 3) 北川敏男; 実験計画法講義 (I), (昭和31) pp.144-147 培風館
- 4) 石田 誠, 河野哲雄; 2024-T4 アルミニウム合金平滑丸棒の常温回転曲げ疲労試験, 航技研資料 TM-56 (昭和41)

表 4 2024-T4, 平板曲げ試験結果 ($R = -1$)

板厚 t (mm)	応力 S (kg/mm ²)	破壊繰返し数 N	\log $N = x$	$\hat{x}, s, \hat{\sigma}$ の値	板厚 t (mm)	応力 S (kg/mm ²)	破壊繰返し数 N	\log $N = x$	$\hat{x}, s, \hat{\sigma}$ の値
4	8	7.907×10^5	5.898	$\hat{x} = 6.190$ $s = 0.405$ $\hat{\sigma} = 0.427$	5	8	5.285×10^5	5.723	$\hat{x} = 5.661$ $s = 0.0364$ $\hat{\sigma} = 0.0384$
		1.174×10^6	6.070				4.467×10^5	5.650	
		8.473×10^5	5.928				4.093×10^5	5.612	
		1.571×10^7	7.196				4.478×10^5	5.651	
		9.961×10^5	5.985				4.509×10^5	5.654	
		1.906×10^6	6.280				3.991×10^5	5.601	
		1.016×10^6	6.007				4.467×10^5	5.650	
		4.753×10^6	6.677				4.898×10^5	5.690	
		7.362×10^5	5.867				5.059×10^5	5.704	
		1.014×10^6	6.006				4.457×10^5	5.649	
4	10	8.072×10^5	5.907	$\hat{x} = 5.857$ $s = 0.0719$ $\hat{\sigma} = 0.0758$	5	10	5.132×10^5	5.710	$\hat{x} = 5.632$ $s = 0.0588$ $\hat{\sigma} = 0.0620$
		6.039×10^5	5.781				3.838×10^5	5.584	
		6.532×10^5	5.815				3.697×10^5	5.568	
		7.586×10^5	5.879				3.410×10^5	5.533	
		6.699×10^5	5.826				4.145×10^5	5.618	
		1.059×10^6	6.025				4.941×10^5	5.694	
		7.551×10^5	5.878				5.094×10^5	5.707	
		5.636×10^5	5.751				4.287×10^5	5.632	
		6.934×10^5	5.841				4.011×10^5	5.603	
		7.430×10^5	5.871				4.711×10^5	5.673	
4	15	1.762×10^5	5.246	$\hat{x} = 5.258$ $s = 0.0312$ $\hat{\sigma} = 0.0329$	5	15	1.159×10^5	5.064	$\hat{x} = 5.137$ $s = 0.0814$ $\hat{\sigma} = 0.0858$
		1.910×10^5	5.281				1.657×10^5	5.219	
		1.803×10^5	5.256				1.537×10^5	5.187	
		1.556×10^5	5.192				1.405×10^5	5.148	
		1.778×10^5	5.250				1.437×10^5	5.157	
		1.816×10^5	5.259				1.210×10^5	5.083	
		2.047×10^5	5.311				9.140×10^4	4.961	
		1.858×10^5	5.269				1.441×10^5	5.159	
		1.726×10^5	5.237				1.820×10^5	5.260	
		1.950×10^5	5.290				1.510×10^5	5.179	

表 5 7075-T6 平板曲げ試験結果 ($R = -1$)

板厚 t (mm)	応力 S (kg/ mm ²)	破壊繰返し数 N	\log $N = x$	$\hat{x}, s, \hat{\sigma}$ の値	板厚 t (mm)	応力 S (kg/ mm ²)	破壊繰返し数 N	\log $N = x$	$\hat{x}, s, \hat{\sigma}$ の値
4	8	7.656×10^5	5.884	$\hat{x} = 6.1004$ $s = 0.257$ $\hat{\sigma} = 0.271$	5	8	5.786×10^5	5.762	$\hat{x} = 5.698$ $s = 0.049$ $\hat{\sigma} = 0.0517$
		1.070×10^6	6.029				4.509×10^5	5.654	
		9.594×10^5	5.982				5.091×10^5	5.707	
		4.540×10^6	6.657				6.311×10^5	5.800	
		2.247×10^6	6.439				4.206×10^5	5.623	
		6.683×10^5	5.825				4.812×10^5	5.682	
		1.633×10^6	6.213				4.699×10^5	5.672	
		1.396×10^6	6.146				4.942×10^5	5.694	
		7.063×10^5	5.849				5.236×10^5	5.719	
		9.462×10^5	5.976				4.714×10^5	5.673	
4	10	3.214×10^5	5.507	$\hat{x} = 5.596$ $s = 0.0881$ $\hat{\sigma} = 0.0929$	5	10	2.137×10^5	5.330	$\hat{x} = 5.391$ $s = 0.0606$ $\hat{\sigma} = 0.0639$
		3.901×10^5	5.591				3.174×10^5	5.502	
		4.070×10^5	5.610				2.688×10^5	5.429	
		3.201×10^5	5.505				2.241×10^5	5.350	
		3.743×10^5	5.573				2.674×10^5	5.427	
		3.464×10^5	5.540				2.560×10^5	5.408	
		3.347×10^5	5.525				2.735×10^5	5.437	
		6.142×10^5	5.788				1.890×10^5	5.276	
		3.962×10^5	5.598				2.461×10^5	5.391	
		5.268×10^5	5.722				2.303×10^5	5.362	
4	15	1.221×10^5	5.087	$\hat{x} = 5.067$ $s = 0.0571$ $\hat{\sigma} = 0.0602$	5	15	8.900×10^4	4.949	$\hat{x} = 5.004$ $s = 0.108$ $\hat{\sigma} = 0.113$
		1.288×10^5	5.110				1.153×10^5	5.062	
		9.740×10^4	4.989				9.260×10^4	4.967	
		1.083×10^5	5.035				9.550×10^4	4.980	
		1.591×10^5	5.202				1.010×10^5	5.004	
		1.145×10^5	5.059				9.900×10^4	4.995	
		1.074×10^5	5.031				1.775×10^5	5.249	
		1.250×10^5	5.097				8.850×10^4	4.947	
		1.043×10^5	5.018				1.192×10^5	5.076	
		1.111×10^5	5.046				6.410×10^4	4.807	

表 7 平滑丸棒の軸荷重試験結果

負荷型式 R	最大応力 S _{max} (kg/mm ²)	破壊繰返し数 N	log N = x	$\hat{x}, s, \hat{\sigma}$ の値	負荷型式 R	最大応力 S _{max} (kg/mm ²)	破壊繰返し数 N	log N = x	$\hat{x}, s, \hat{\sigma}$ の値
- 1	20	2.43 × 10 ⁵	5.386	$\hat{x} = 5.198$ $s = 0.200$ $\hat{\sigma} = 0.244$	-0.5	17	8.21 × 10 ⁶	6.914	$\hat{x} = 6.847$
		1.49 × 10 ⁵	5.173				1.12 × 10 ⁷	7.049	
		1.15 × 10 ⁵	5.061			35	3.32 × 10 ⁴	4.521	$\hat{x} = 4.553$
		8.22 × 10 ⁴	4.915				4.74 × 10 ⁴	4.676	
		2.85 × 10 ⁵	5.455				2.97 × 10 ⁴	4.473	
	17	1.13 × 10 ⁶	6.053	3.49 × 10 ⁴			4.543		
		1.80 × 10 ⁵	5.255	32			1.07 × 10 ⁵	5.029	
		1.46 × 10 ⁵	6.164			1.76 × 10 ⁵	5.246		
		1.43 × 10 ⁵	5.155			1.07 × 10 ⁵	5.029		
	2.58 × 10 ⁵	5.412	4.92 × 10 ⁴			4.692			
	15	1.64 × 10 ⁶	6.215	30		9.03 × 10 ⁴	4.956	$\hat{x} = 5.145$	
		4.04 × 10 ⁵	5.606			1.85 × 10 ⁵	5.267		
		7.09 × 10 ⁶	6.851			1.09 × 10 ⁵	5.037		
		1.22 × 10 ⁶	6.086			2.08 × 10 ⁵	5.318		
	12	1.73 × 10 ⁶	6.238	27		2.41 × 10 ⁵	5.382	$\hat{x} = 5.367$	
		1.41 × 10 ⁶	6.149			9.55 × 10 ⁵	5.980		
		1.65 × 10 ⁷	7.217			8.76 × 10 ⁴	4.943		
		1.31 × 10 ⁷	7.117			1.46 × 10 ⁵	5.164		
	11	7.61 × 10 ⁶	6.881	23		1.04 × 10 ⁶	6.017	$\hat{\sigma} = 6.056$	
		1.15 × 10 ⁷	7.061			7.16 × 10 ⁵	5.855		
7.75 × 10 ⁶		6.889	7.21 × 10 ⁵		5.858				
-0.5	33	4.74 × 10 ⁴	4.676	20	4.27 × 10 ⁵	5.630	破壊せず		
		4.63 × 10 ⁴	4.666		2.00 × 10 ⁷	7.301			
		4.13 × 10 ⁴	4.616		45	1.41 × 10 ⁴		4.149	$\hat{x} = 4.288$ $s = 0.0944$ $\hat{\sigma} = 0.106$
	30	4.82 × 10 ⁴	4.683	1.85 × 10 ⁴		4.267			
		4.43 × 10 ⁴	4.648	2.24 × 10 ⁴		4.350			
		7.89 × 10 ⁴	4.879	2.67 × 10 ⁴		4.427			
	27	8.82 × 10 ⁴	4.945	40	2.06 × 10 ⁴	4.314	$\hat{x} = 4.359$ $s = 0.0943$ $\hat{\sigma} = 0.105$		
		6.24 × 10 ⁴	4.795		3.15 × 10 ⁴	4.498			
		2.00 × 10 ⁵	5.299		2.04 × 10 ⁴	4.310			
	23	6.45 × 10 ⁵	5.810	35	2.73 × 10 ⁴	4.436	$\hat{x} = 4.848$ $s = 0.158$ $\hat{\sigma} = 0.176$		
		2.22 × 10 ⁵	5.346		1.73 × 10 ⁴	4.238			
		1.10 × 10 ⁶	6.041		1.15 × 10 ⁵	5.061			
20	5.34 × 10 ⁵	5.727	35	4.85 × 10 ⁵	4.686	$\hat{x} = 4.848$ $s = 0.158$ $\hat{\sigma} = 0.176$			
	3.96 × 10 ⁶	6.598		1.04 × 10 ⁵	5.017				
	3.80 × 10 ⁵	5.580		5.40 × 10 ⁵	4.732				
17	3.79 × 10 ⁶	6.579		5.55 × 10 ⁵	4.743				

負荷型式 R	最大応力 S_{max} (kg/mm ²)	破壊繰返し数 N	log $N = x$	$\hat{x}, s, \hat{\sigma}$ の値	負荷型式 R	最大応力 S_{max} (kg/mm ²)	破壊繰返し数 N	log $N = x$	$\hat{x}, s, \hat{\sigma}$ の値
0.1	32	1.90×10^5	5.279	$\hat{x} = 5.170$ $s = 0.124$ $\hat{\sigma} = 0.139$	0.3	40	6.08×10^4	4.784	$\hat{x} = 4.739$ $s = 0.0539$ $\hat{\sigma} = 0.0602$
		1.97×10^5	5.294				6.19×10^4	4.792	
		9.11×10^4	4.960				5.95×10^4	4.775	
		1.62×10^5	5.210				4.75×10^4	4.677	
		1.29×10^5	5.110				4.68×10^4	4.670	
	30	4.36×10^5	5.639	$\hat{x} = 5.383$ $s = 0.169$ $\hat{\sigma} = 0.189$		35	1.51×10^5	5.179	$\hat{x} = 5.021$ $s = 0.117$ $\hat{\sigma} = 0.131$
		1.98×10^5	5.297				8.91×10^4	4.950	
		2.68×10^5	5.428				1.329×10^5	5.124	
		2.65×10^5	5.423				9.96×10^4	4.998	
	27	1.34×10^6	5.126	$\hat{x} = 5.640$ $s = 0.145$ $\hat{\sigma} = 0.162$		32	2.15×10^5	5.332	$\hat{x} = 5.199$ $s = 0.129$ $\hat{\sigma} = 5.072$
		2.34×10^5	5.369				1.02×10^5	5.007	
		4.18×10^5	5.621				1.91×10^5	5.281	
5.50×10^5		5.740	1.21×10^5		5.083				
5.98×10^5		5.777	1.95×10^5		5.29				
23	4.93×10^5	5.693	$\hat{x} = 6.424$ $s = 0.544$ $\hat{\sigma} = 0.620$	30	3.31×10^5	5.520	$\hat{x} = 5.476$ $s = 0.237$ $\hat{\sigma} = 0.266$		
	1.31×10^6	6.117			1.18×10^5	5.072			
	4.96×10^5	6.695			4.96×10^5	5.695			
	3.52×10^5	5.547			2.36×10^5	5.374			
	3.78×10^6	6.577			5.22×10^5	5.717			
0.3	45	1.522×10^7	7.182	$\hat{x} = 4.552$ $s = 0.0866$ $\hat{\sigma} = 0.0968$	27	3.91×10^6	6.592	$\hat{x} = 6.532$ $s = 0.614$ $\hat{\sigma} = 0.867$	
		3.27×10^4	4.515			3.45×10^6	6.538		
		4.37×10^4	4.640			2.74×10^5	5.438		
		4.67×10^4	4.667			5.82×10^6	6.765		
		2.99×10^4	4.476			2.12×10^7	7.363		
2.88×10^4	4.459								

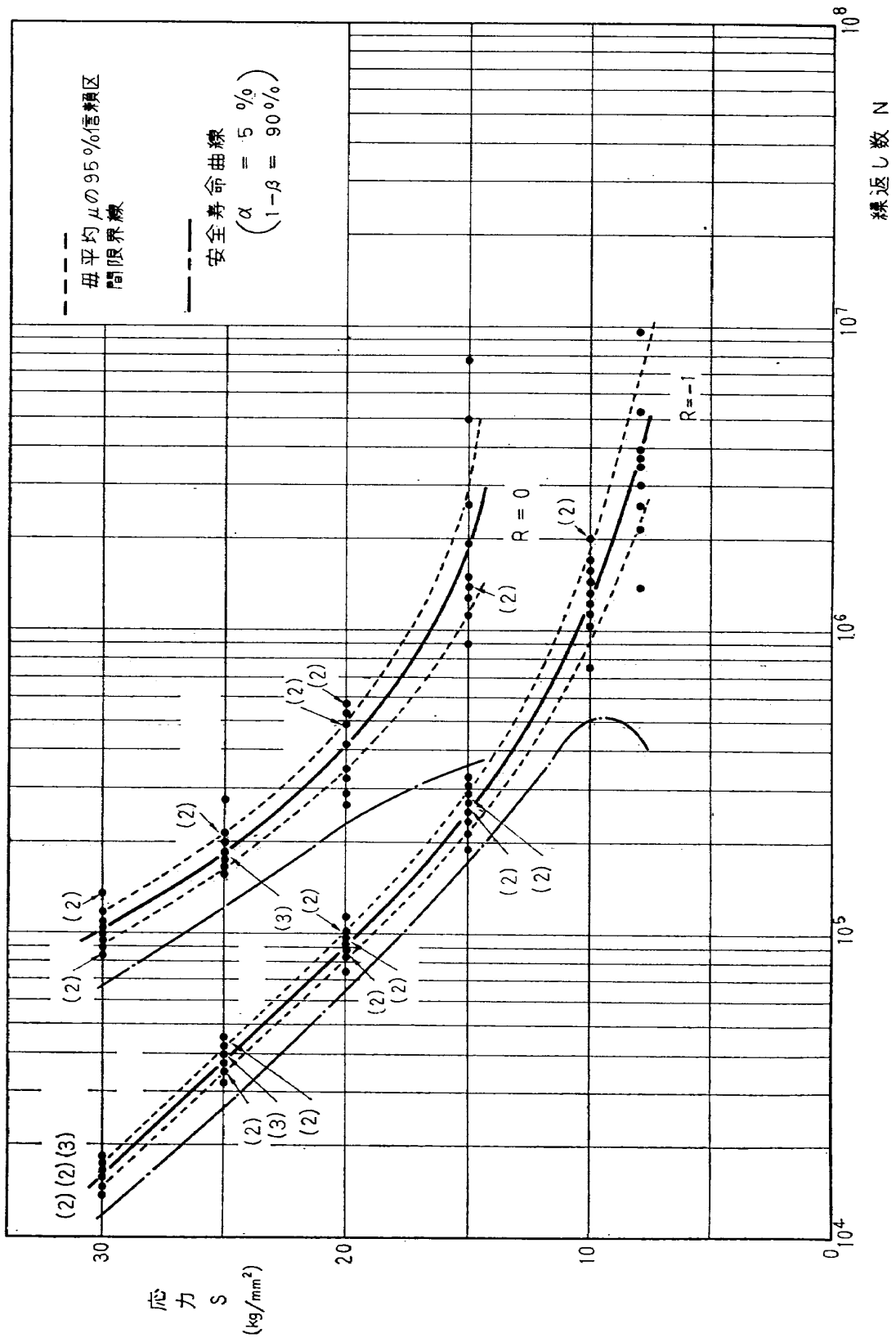


図 3 2024-T4 S-N 曲線 板厚 3 mm

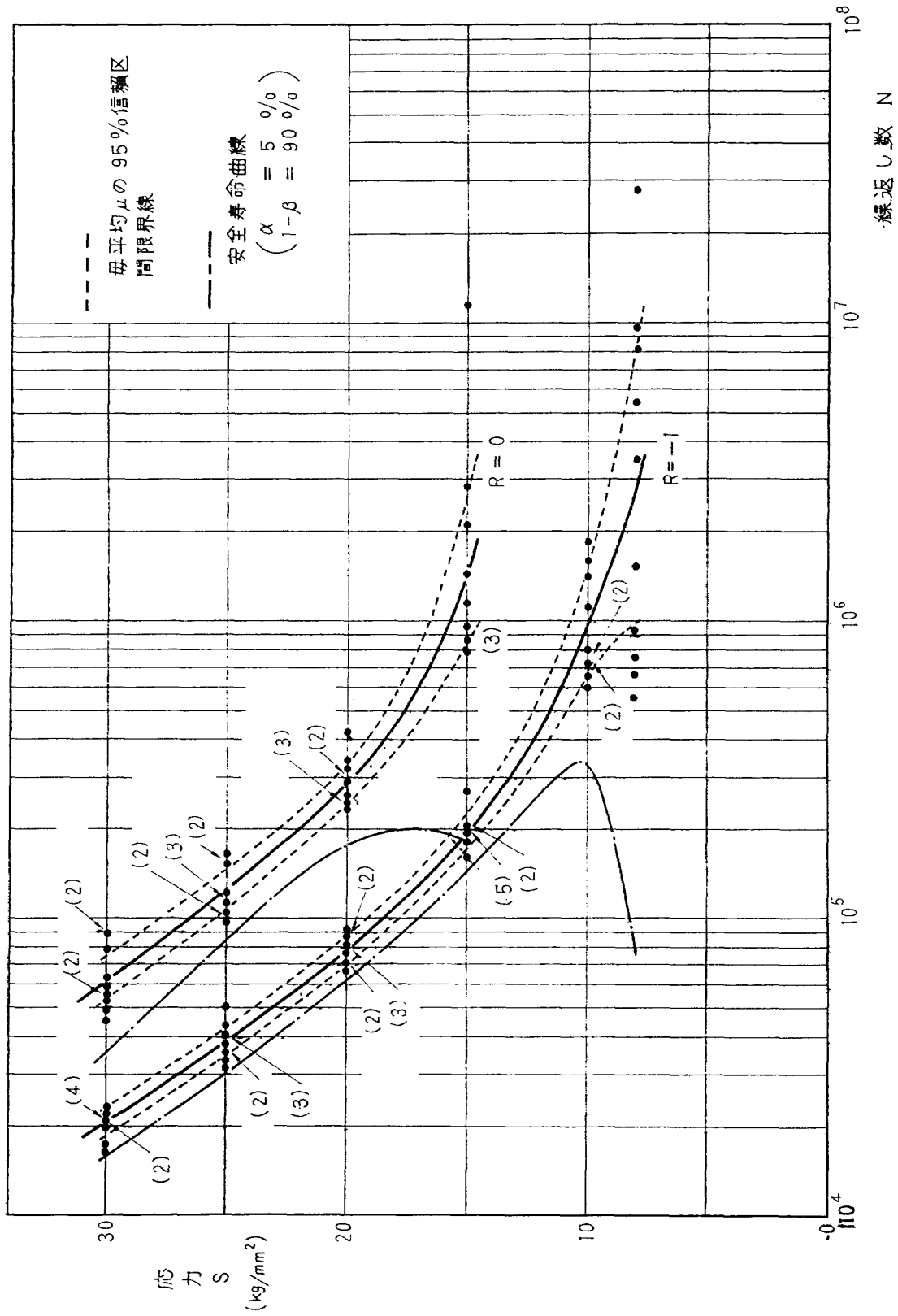


図 4 7075-T4 S-N 曲線 板厚 3 mm

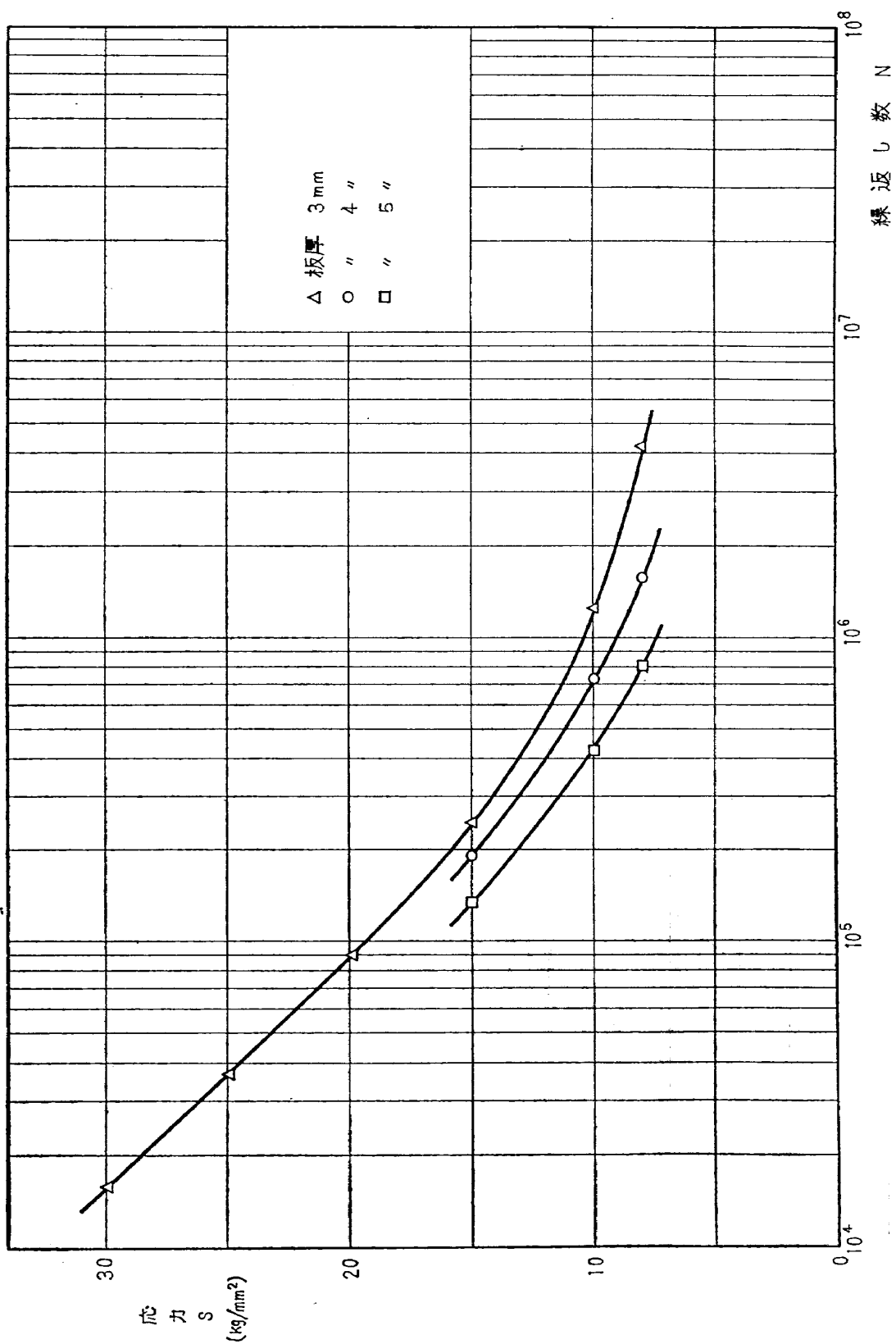


図 5 2024-T4 板厚の影響 R = -1

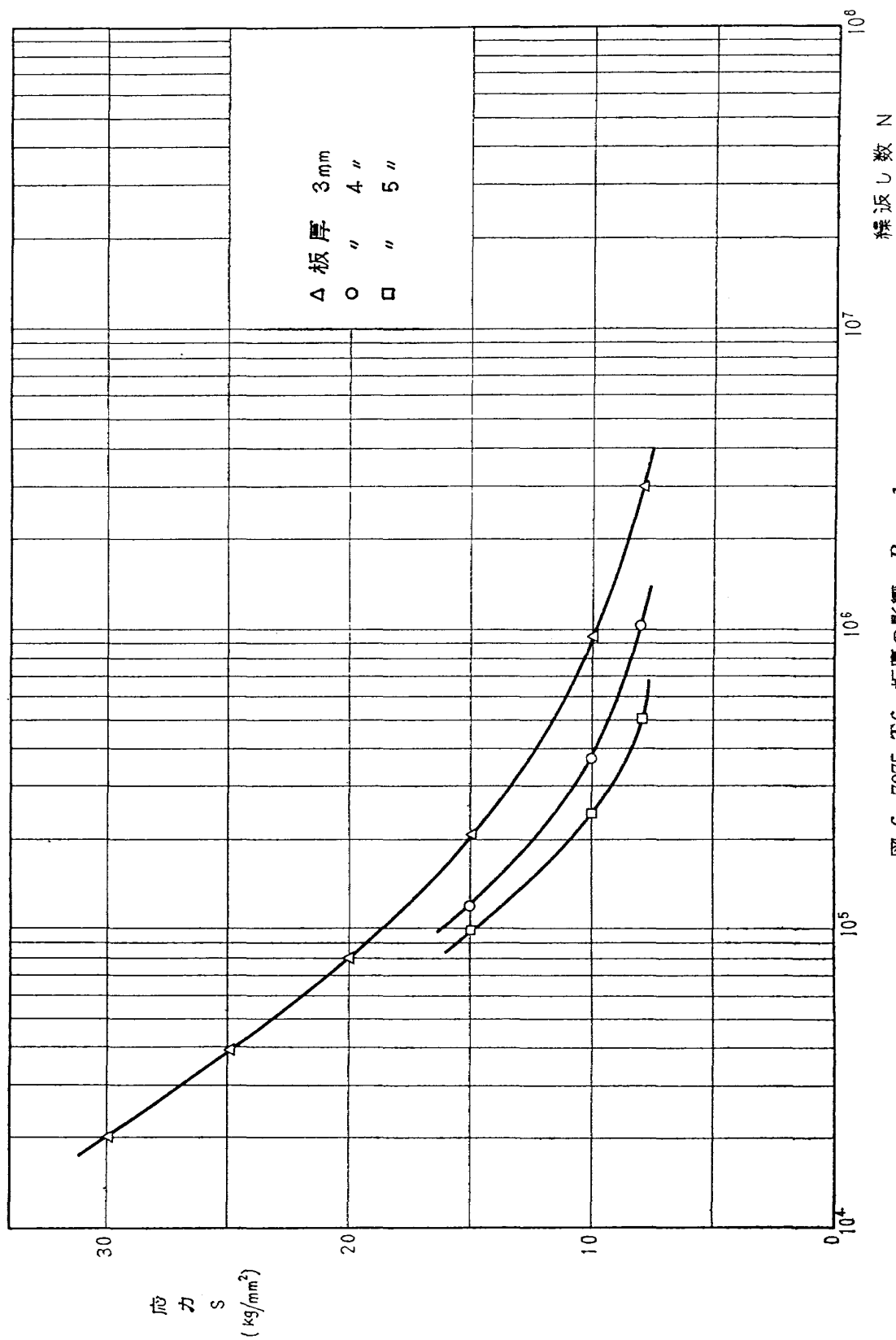
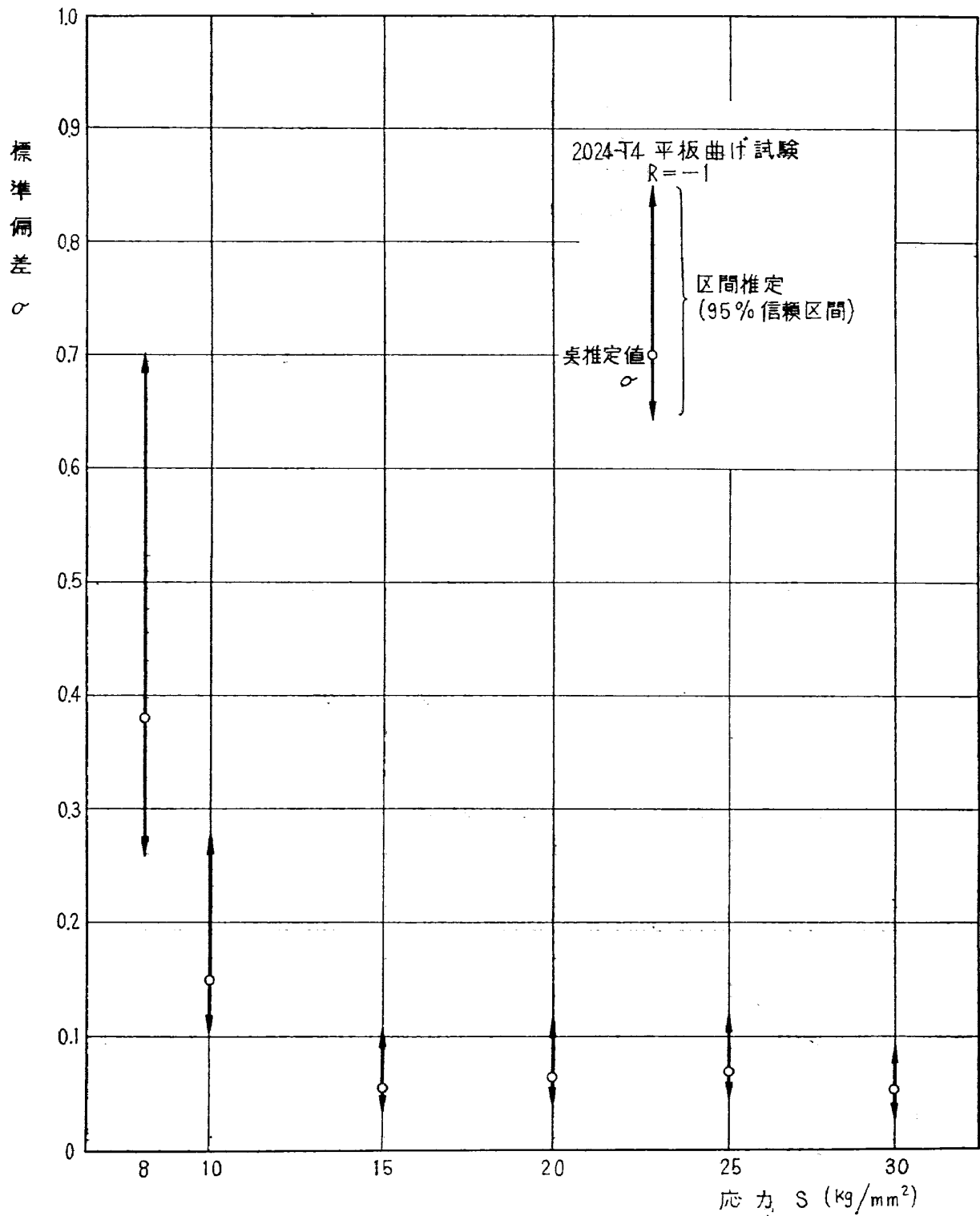


図 6 7075-T6 板厚の影響 R = -1

図 7(a) 母標準偏差 σ の推定

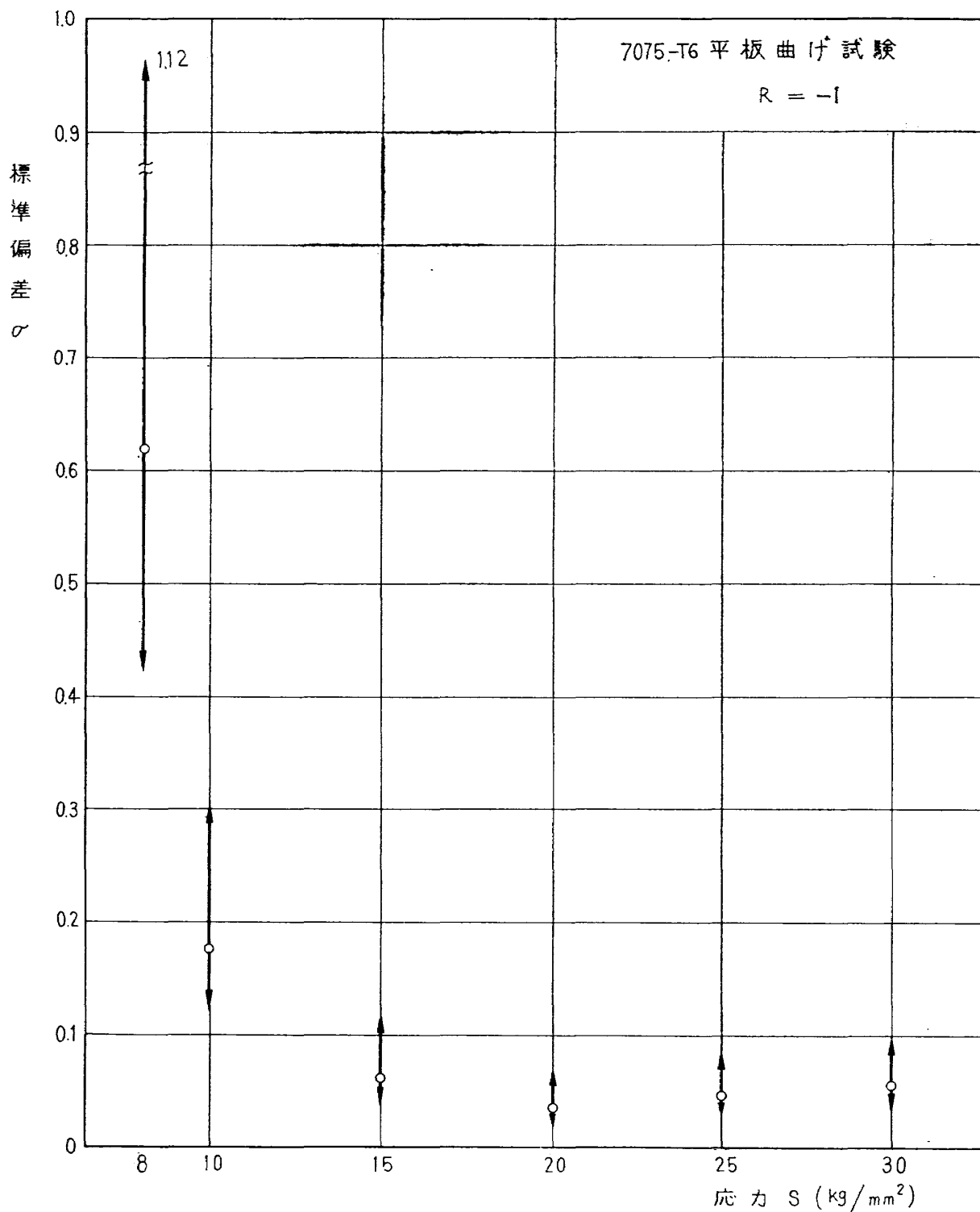
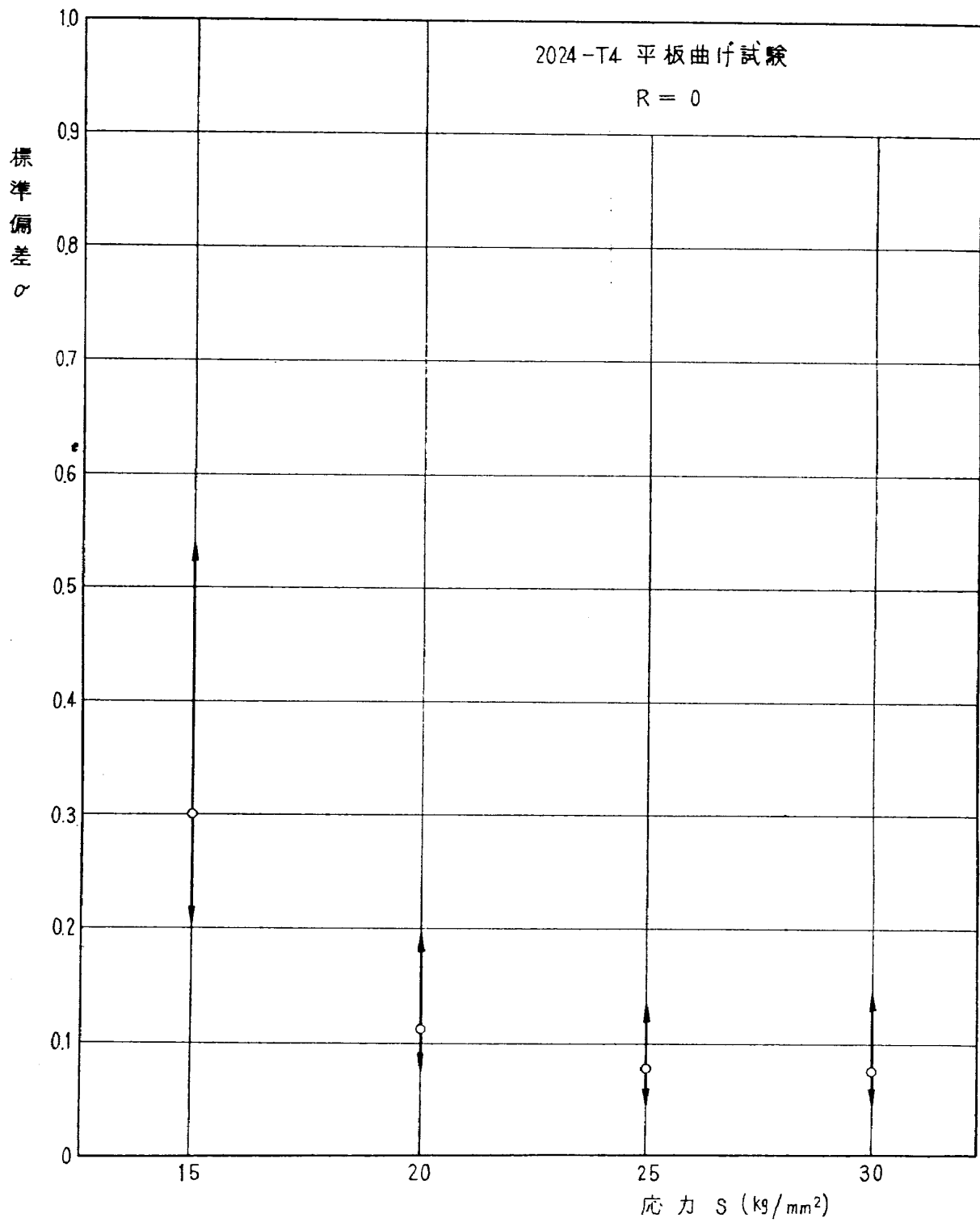


図 7(b) 母標準偏差 σ の推定

図 7(c) 母標準偏差 σ の推定

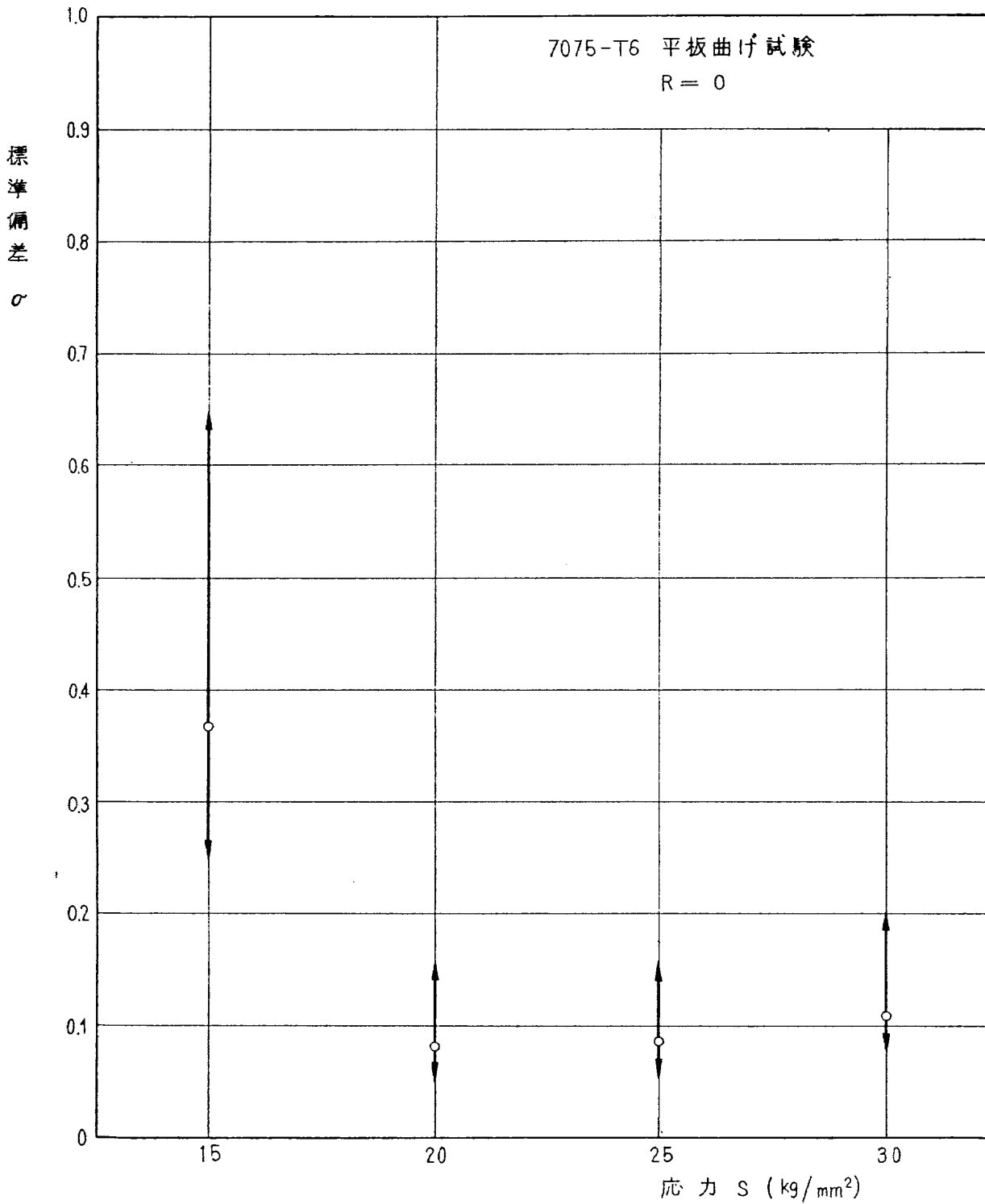


図 7(d) 母標準偏差 σ の推定

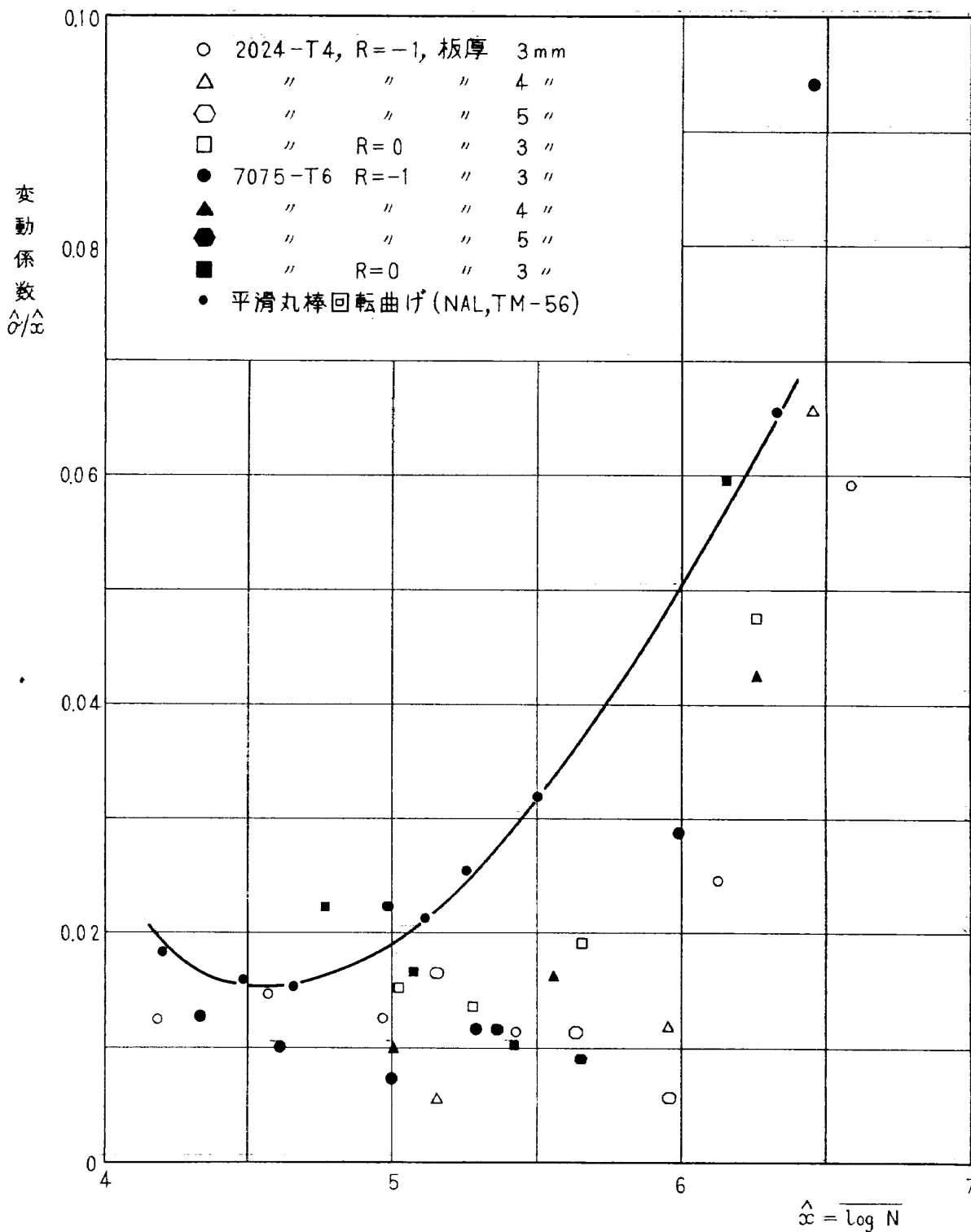


図 8 平板曲げ変動係数 $\hat{\sigma}/\hat{\alpha}$

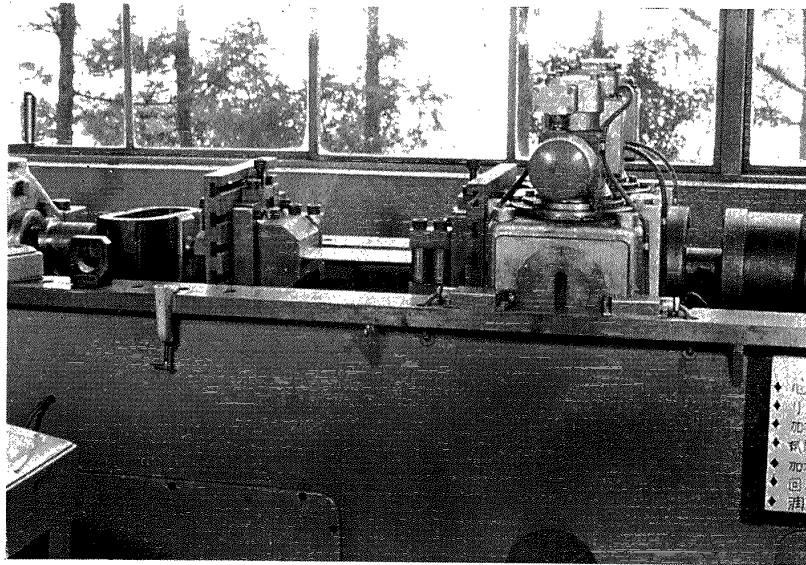


図10 慣性力型疲労試験機

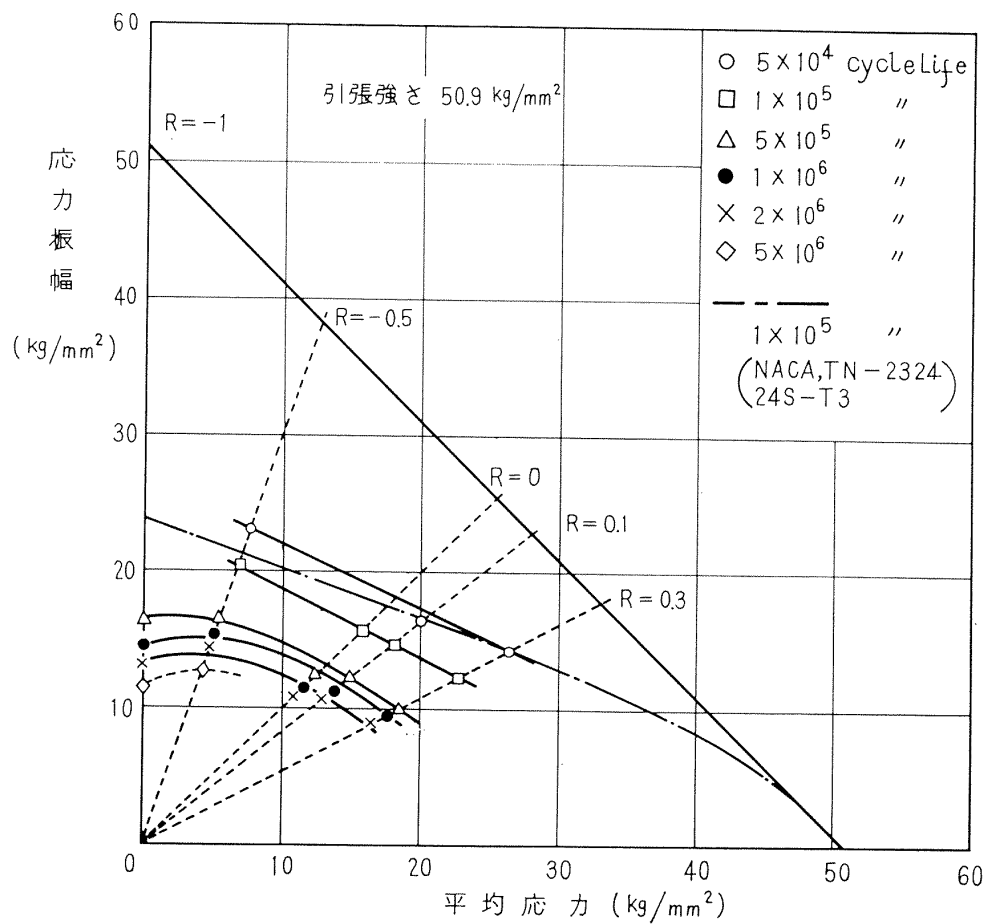
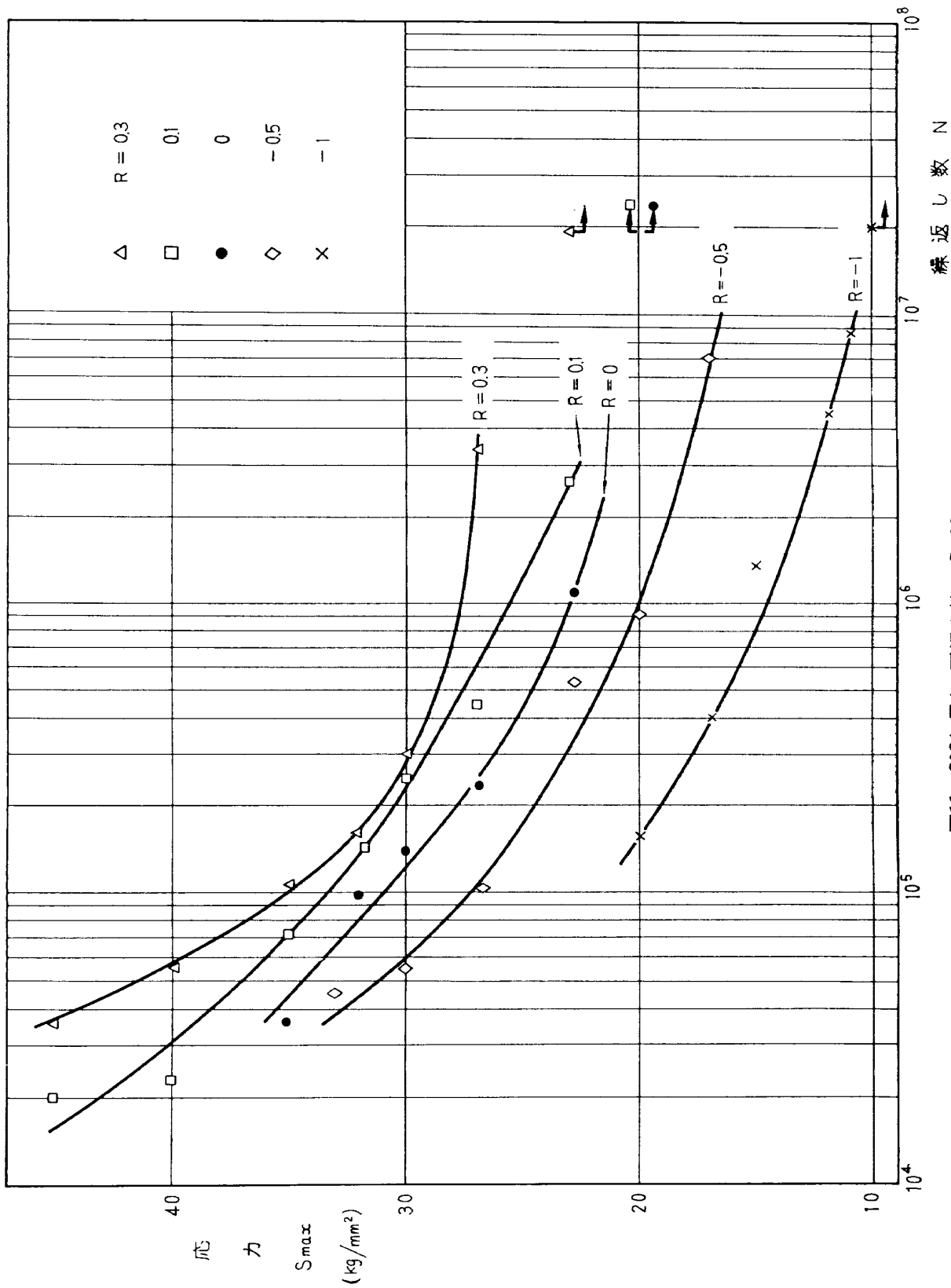


図12 2024-T4 平滑丸棒の軸荷重試験時間強度線



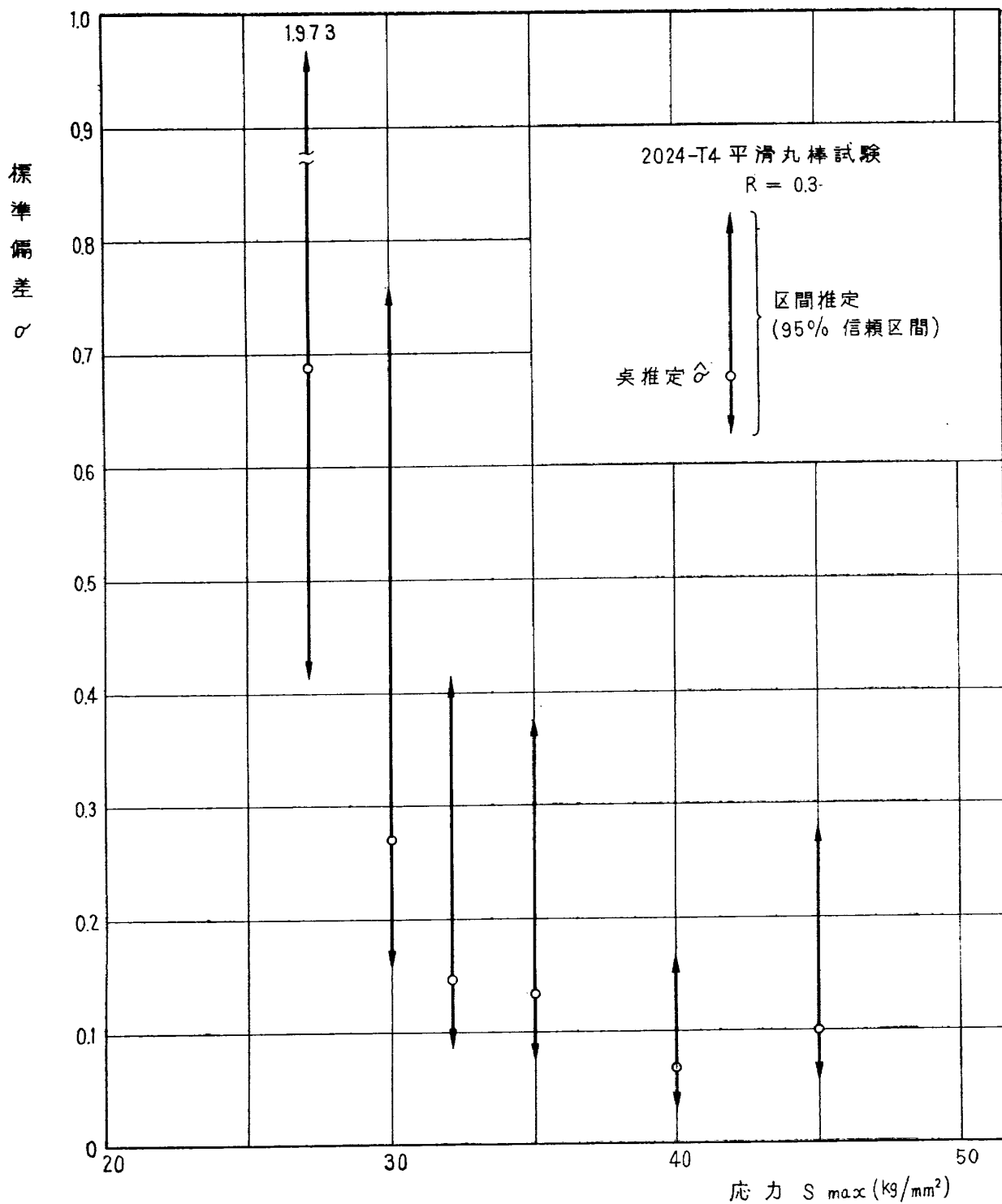


図13(a) 母標準偏差 σ の推定

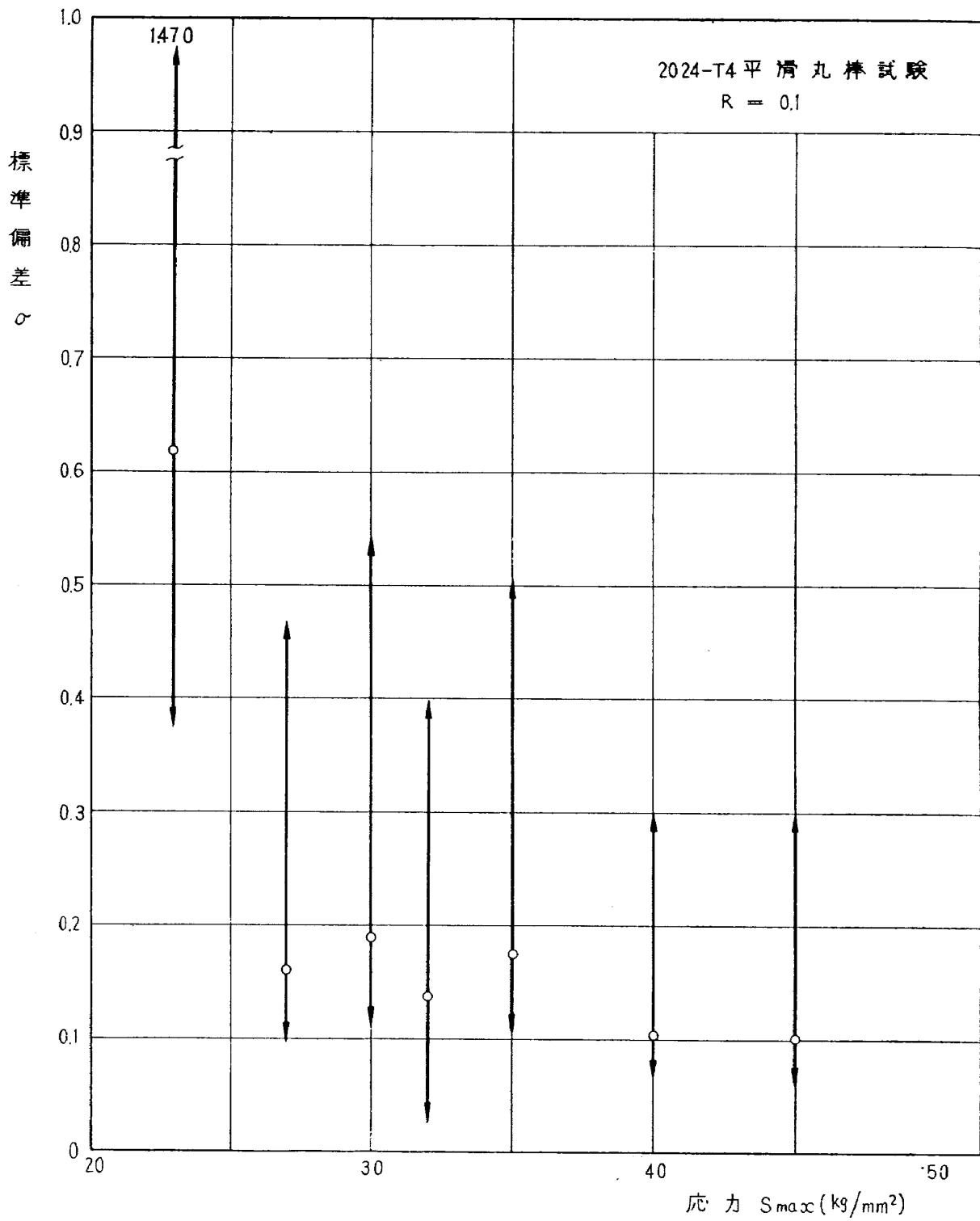


図13(b) 母標準偏差 σ の推定

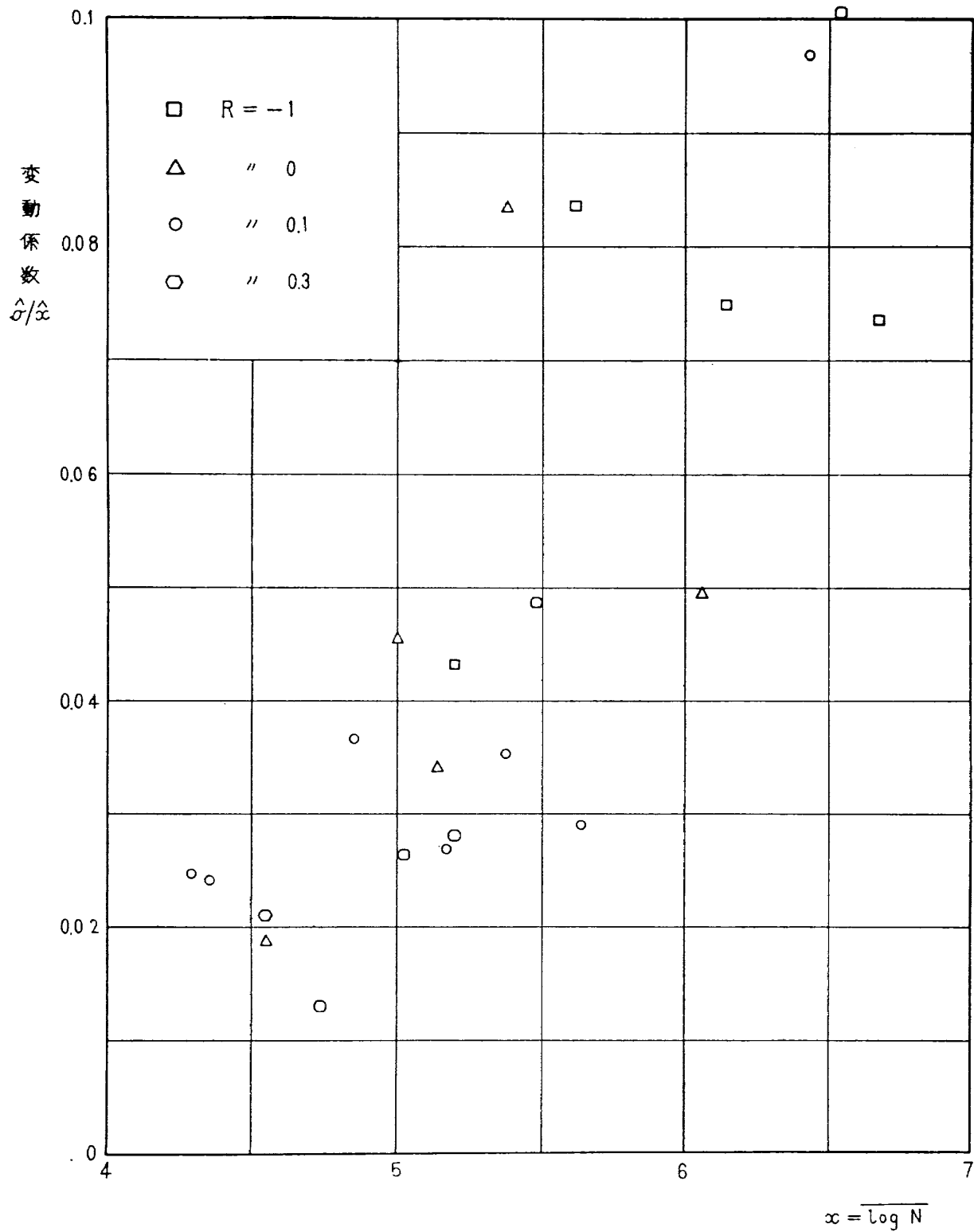


図14 平滑丸棒変動係数 $\hat{\sigma}/\sigma$

TM-75	高マッハ数風洞の消音装置について	1966年2月	牛田健二, 清水福寿
TM-76	コーティングの断熱効果のアナログシミュレーション	1966年2月	吉永崇一, 小川鑑一
TM-77	テレメータ電波の偏波面の回転を利用したロケットのスピン測定について	1966年3月	田畑浄治, 桜井善雄
TM-78	昇降舵の操舵力特性に関するシミュレータ解析	1966年3月	三浦雅男, 森幹彦
TM-79	テレメータ機上装置の小型化の研究	1966年3月	堀川野直治
TM-80	安定制御のための一計算法	1966年3月	新田慶哲, 二藏
TM-81	吹出式超音速風洞の起動時および停止時における過負荷防止装置	1966年3月	石原久藏, 斎藤秀夫
			外立政隆, 榎原盛三
TM-82	ピトー管による境界層速度分布測定について	1966年4月	長洲秀夫, 柏原登喜子
TM-83	ジェットリフトエンジン空気取入口の実験(II)	1966年4月	近藤博, 増田惣平
TM-84	二段ロケットの低速風洞試験	1966年7月	毛利浩, 田村敦宏
			佐野四郎, 能村実
TM-85	航空機の滑走路走行時の振動に関する実験的研究	1966年8月	小野幸一
TM-87	極小型超音速機用姿勢制御装置の特性解析	1966年8月	池谷光栄, 畑山茂樹
TM-88	プロペラ後流偏向型STOL機の風洞試験(I)	1966年9月	犬丸矩夫, 岡部祐二郎
			北村清美, 川幡長勝
TM-89	有孔板の振動について	1966年9月	木村友昭, 泉日出夫
TM-90	地上付近の横風の影響による小型ロケットの方位角変化	1966年9月	川井忠彦, 石黒登美子
TM-91	高速タービン翼列二次元試験	1966年10月	近藤博, 蓑田光弘
			山崎紀雄
TM-92	リフトジェットエンジン試験設備(I) 一台上運転設備一	1966年10月	大中山耕一, 吉田晃昇
			五味晋男, 菅原昇
TM-94	J-3ジェットエンジン用タービン動翼の固有振動特性	1966年11月	五武内澄夫, 宮地敏雄
TM-95	超軽量軸流圧縮機動翼の固有振動特性	1966年11月	星谷澄昌, 二夫, 宮地敏雄
			武星澄昌

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96号

昭和41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
 電話武蔵野三鷹(0422)44-9171(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

