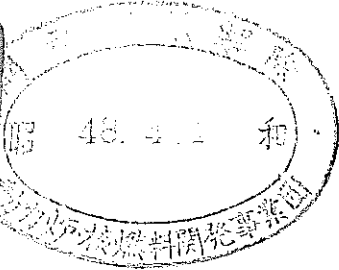
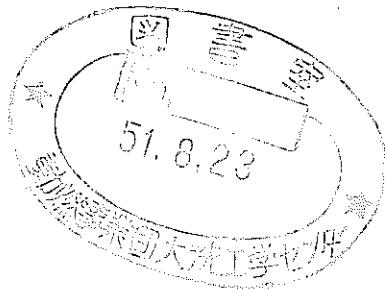


8N241
71
54



高速増殖炉燃料被覆管材料の 低サイクル疲労強度 (第一次試験)

技術資料コード	
開示区分	レポートNo. N241/71-54
<p>この資料は図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です</p> <p>動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室</p>	



昭和46年11月

区 分 交 更	
変更申請年月日	≡
決定年月日	平成13年11月30日

F B R 材 料 専 門 委 員 会
構 造 設 計 委 員 会
疲労サブグループ
(主査 鶴戸口 英 善)

担 当 者

主 査	鷓 戸 口	英 善	(東 大)
担当者	朝 田	泰 英	(東 大)
	本 田	裕	(三菱原子力工業)
	砂 本	大 造	(三菱重工業)
	山 内	英 和	(三菱重工業)

目 次

1. ま え が き	1 頁
2. 試 験 研 究 の 方 法	1
3. 試 験 結 果	2
4. 試 験 結 果 の 検 討	3
5. 設 計 疲 労 曲 線	5
6. ま と め	5
図 表	

1. ま え が き

動力炉・核燃料開発事業団において開発中の高速増殖炉原型炉“JY0Y0”用燃料被覆管の疲労解析の基礎となる、被覆管材料の疲労曲線について試験結果を取纏めた。

実用状態においては、被覆管は650℃程度の高温度雰囲気におかれ、かつ管内外面に生ずる温度差に基き熱応力を生ずる。炉の発停、負荷変動に伴なつて、この温度、熱応力も変動するから、被覆管は熱疲労状態にあると想定される。

応力、歪とともに温度の変動する熱疲労に関して、従来のASME流の疲労解析では、温度変動の効果は無視し、一定温度下の低サイクル疲労として処理することになっているが、従来の研究例では、上限温度 T_{max} 、下限温度 T_{min} なる温度サイクルの重畳した熱疲労強度は、 $T = T_{max}$ なる一定温度下の低サイクル疲労強度よりも低下する例が報告されていた。

よつて本研究では、被覆管材料について幾つかの試験温度において、等温度下の低サイクル疲労（高温疲労と呼ぶ）ならびに温度サイクル重畳下の熱疲労（熱疲労と呼ぶ）試験を行ない、両種の疲労強度の相関性を検討してより合理的な疲労曲線を求めることとした。

本研究は事業団の立案した研究計画に基き、東京大学工学部、三菱原子力工業、三菱重工業神戸研究所、長崎研究所が疲労試験を分担実施し、神戸製鋼所が試験材料の製造に当つた。

試験研究は既に終了し、各研究分担機関から報告書が提出されており、本報告書はそれらの結果を取纏め次の点について検討を加えたものである。

- (i) 各研究担当機関から提出された試験結果の有意差の検討
- (ii) 合理的と考えられる疲労曲線を求める。

なお、安全率については総合的見地から定めることが望ましいため、本報告では触れておらず、従つて設計疲労曲線も示していない。また本報告の諸データは次の資料から引用したもので、詳細についてはこれらを参照されたい。

- (1) 高速増殖炉燃料被覆管材料高温疲労試験（1970-11） 三菱原子力工業
- (2) 高速増殖炉燃料被覆管材料の低サイクル疲労強度に関する研究（1971-5-10）
東京大学工学部

2. 試験方法の概要

はじめに、各研究分担機関で採用した試験方法の概要を参考までに説明する。

2.1 供 試 材

SUS32冷間引抜中空丸棒（外径18mm，内径10mm）を供試材とした。本供試素管寸法は疲労試験片採取の都合上実物被覆管（外径6.3mm，内径5.7mm）と著しく異なっているが、機械的性質ならびに微細組織は実物と揃えるよう塑性加工ならびに熱処理を施してある。

表 1 に供試材の化学組成を、表 2 に各種試験温度における静的機械的性質を示した。

2.2 試験の分担と試験条件

等温度下の低サイクル疲労試験ならびに温度サイクル重畳下の低サイクル疲労試験を、いずれも 5 種の試験温度条件の下で合計 10 系列実施した。高温疲労試験の試験温度は熱疲労試験の上限温度に合せ、熱疲労試験の下限温度は 250℃を標準とした。この他基準データとして R.T. における低サイクル被覆試験、設計温度条件 ($T_{\max} = 650$ ℃, $T_{\min} = 370$ ℃) における熱疲労試験を行なった。さらに各試験温度条件において 2 箇所の研究機関が試験を実施し、試験結果の相互比較を行なえるようにした。表 3 に試験条件と研究担当機関を示す。

2.3 試験片および試験装置

表 4 に各研究担当機関で使用した試験装置、ならびに試験片を示す。試験装置が異なるため、試験片形状は各研究機関によつて必ずしも同一ではない。

2.4 温度、歪波形

(i) 歪繰返し速度

表 3 に各研究担当機関で採用した歪繰返し速度を示す。

(ii) 温度サイクル

熱疲労試験の場合、東大では圧縮歪が上限温度において負荷される高温圧縮型を、三菱長崎では上限温度において引張歪を負荷する高温引張型を採用した。なお、高温引張と高温圧縮による熱疲労強度の相異は、三菱長崎において SUS 27 を用いた予備試験が行なわれ、高温引張のほうが強度が低下するとの結果が得られている。

(iii) 歪 波 形

高温疲労試験の場合、三菱神戸は三角波、東大は 5～15 sec の保持時間を有する台形波であつた。熱疲労試験の場合、三菱長崎、東大とも、5～15 sec の保持時間を有する台形波を用いた。

(iv) 塑性歪の分離

各研究機関とも、記録された応力歪ヒステリシス曲線から塑性歪範囲を測した。

3. 試験結果

高温疲労試験および熱疲労試験の結果を表 5～10 に一括して示す。試験は完全両振れ全歪制御によつて行なわれた。

供試材は強度の塑性加工を受けている為、いずれも繰返歪軟化性を示した。表中の塑性歪範囲、弾性歪範囲、応力範囲は、いずれも $n \approx \frac{1}{2} N_f$ における値を代表値として示したものである。

全歪、弾性歪、塑性歪の各振幅と破断寿命の関係を示す疲労曲線を図 1～6 に示す。

4. 試験結果の検討

4.1 研究担当機関の相違によるデータの差異

(i) 高温疲労

図 1～6 から次の事実が指摘できる。高温疲労の場合全ひずみ振幅対寿命の疲労曲線は東大、三菱神戸の両データともにほぼ一致し、明確な相異は認められない。しかし弾性歪振幅対寿命、塑性歪振幅対寿命の関係では有意差が認められ、東大データが三菱神戸データに比べて、弾性歪振幅は高目に、塑性歪振幅は低目に出る傾向が生じている。

(ii) 熱疲労

先ず全歪振幅対寿命の関係について東大、三菱長崎のデータを比較すると、試験温度 500/250℃ の場合には有意差は認められないが、それ以外のみ温度条件については、一般に東大データが三菱長崎データより高目に出る傾向が認められた。この相異は 650/250℃ の場合に最も顕著である。また弾性歪振幅対寿命、塑性歪振幅対寿命の関係についてみると、東大データは三菱長崎データにくらべ、弾性歪振幅は高目に、塑性歪振幅は低目に出ている。

(iii) 繰返し応力歪曲線

図 7～16 に応力範囲 S_R 対全歪範囲 ϵ_{tR} の関係を示す繰返し応力歪曲線を示した。この種の図はバラツキが大きいのが普通であるが、高温疲労の場合、600℃、700℃ の場合を除き、東大、三菱神戸の両データは良く一致していると言える。600℃、700℃ の場合は東大データが低目に出るが、この両実験ではデータのバラツキも大きく、試験が困難であつたことを示すものと思われる。

熱疲労の場合 500℃/250℃ の場合は東大データが低目に出ているが、600/250℃、650/250℃、700/250℃ では三菱長崎データが幾分低目に出る。650/370℃ では良く一致している。

以上の結果のうち主要な相異点は、弾性歪成分、塑性歪成分の相異、熱疲労の場合の全歪振幅で整理した結果の相異、繰返し応力歪曲線の相異であるが、先ず主要な原因として、高温疲労の場合東大と三菱神戸で用いた歪波形の違いが考えられる。また熱疲労の場合では、東大と三菱長崎で歪と温度の位相（高温圧縮と高温引張）に違いがあつた

ことが挙げられる。特に熱疲労の場合に全歪振幅対寿命の疲労曲線に差が出たのは、高温引張と高温圧縮の相異に基くものであろう。

高温圧縮と高温引張での熱疲労強度の相異については、SUS27を用いた予備研究が三菱長崎で行なわれ、その結果による両者の強度差は本研究における650/250℃での熱疲労試験結果の強度差と大体一致している。よつて全歪振幅対寿命で表示した疲労強度において生じた東大と三菱長崎データの差は、高温圧縮と高温引張の試験法の違いに基くものと推定される。

熱疲労の場合に繰返し応力歪曲線が各研究機関で一致しなかつた理由は、必ずしも高温引張と高温圧縮の違いだけでは説明できない。先述の予備試験では、高温引張と高温圧縮での繰返応力歪曲線には差が生じていながつた。

次に全試験結果に共通する点として、弾性歪成分、塑性歪成分が研究機関によつて相異なる問題については、原因の一つとして歪波形の違いが考えられる。即ち、loading, unloading 過程における歪速度の違いと、歪保持時間の違いにより、最大歪保持期間における応力緩和程度に差が生じ、かつその処理が研究機関によつて異なつた懸念がある。しかし高々15 sec程度の保持時間で生ずる応力緩和による塑性歪の変化分は5~10%にすぎないから、これだけで上の相異を説明するには尙難点がある。他に高温疲労の場合には傍熱、直接通電加熱と加熱方法の違いがあつたが、直接通電加熱の場合歪補正をしても歪増加分は高々10%にすぎないから、これも主たる原因とは思われない。

以上のように細部では研究機関によつてデータにかなりの差が生じて来るが、全歪振幅対寿命の疲労曲線のみ注目した場合、研究機関の違いによるデータの違いはほとんど現われない。又、その違いは大体首肯できるものと考えられる。よつて以下の解析には全歪振幅で評価した高温疲労、熱疲労強度を用いることとする。

4.2 高温疲労と熱疲労の強度の比較

全歪振幅対寿命の疲労曲線に基いて高温疲労と熱疲労強度の比較を行なつた。この結果次の知見が得られた。

- (i) $T = 500^{\circ}\text{C}$ の高温疲労と $T_{\max} = 500^{\circ}\text{C}$, $T_{\min} = 250^{\circ}\text{C}$ の熱疲労強度を比較すると、熱疲労強度のほうが高い。
- (ii) $T \geq 600^{\circ}\text{C}$ の高温疲労と $T_{\max} \geq 600^{\circ}\text{C}$ の熱疲労強度を比較すると、高温疲労の試験温度を熱疲労の上限温度に合せた場合、高温疲労強度のほうが高い。
- (iii) 650/250℃, 650/370℃の二種の熱疲労強度を比較すると、温度範囲の大きい前者のほうが熱疲労強度は低下する。

この結果に基けば、本材料は、600℃以上の温度領域では例え熱疲労の上限温度において高温疲労試験を行なつても、その結果は危険側の被覆管寿命予測を行なう恐れ

があることになる。また、熱疲労強度に及ぼす平均温度 ($T_m = 0.5(T_{max} + T_{min})$) の影響は温度範囲の影響を下廻り、大きめの温度範囲を用いて行なわれた熱疲労試験データに基けば安全側の寿命推定が行なえることになる。

以上を纏め図17の $\epsilon_{ta} \sim H_f$ 曲線に示す。

5. 設計疲労曲線

図17に示した $\epsilon_{ta} \sim N_f$ 曲線に基き、等価弾性応力振幅 S_e 対寿命 H_f の疲労曲線を作製した。 S_e の算定して用いた縦弾性係数の値は図18に示した実線である。これは本供試材について三菱長崎および神戸製鋼で求められた値にかなり相違があるため、安全側を見込んで小さい方の値をとつたものである。熱疲労の場合は、上限温度における値を用いている。

得られた $S_e - H_f$ 曲線を図19に示す。図19は今後の疲労解析の基礎となる等価弾性応力振幅対寿命の疲労曲線であつて、設計疲労曲線は、これに更に適切な安全率を掛けて作製すべきものである。

6. ま と め

FBR原型炉燃料被覆管相当材料 SUS321 について、R.T. ~ 700℃ の温度領域で行なわれた高温疲労、熱疲労試験結果を取纏め、設計疲労曲線作製の基礎となる弾性等価応力振幅 S_e 対寿命 H_f の疲労曲線を作製した。これから設計疲労曲線を定めるには、適切な安全率の値を設定する必要がある。

この作業の結果、次の諸点が指摘された。

- (i) 高温疲労強度は、全歪振幅対寿命の疲労曲線で評価すれば研究担当機関の違いによる差は認められない。
- (ii) 熱疲労強度については $\epsilon_{ta} \sim N_f$ 曲線で評価しても研究担当機関の違いによる有意差が認められたが、これは高温圧縮と高温引張の試験法の違いによるものであると考えられる。
- (iii) 弾性歪、塑性歪対寿命の疲労曲線は各研究担当機関により大幅に異なり、かつその原因は本データのみからは追求できなかつた。よつて本解析では、 $\epsilon_{ta} \sim N_f$ 曲線が信頼できるものとし、これに基いて解析作業を行なつた。

表 1. 化学組成

(ミルシートより)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	Mo	N
Spec.	0.06 ~0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.03	≤0.03	11.0 ~14.0	16.0 ~18.0	≤0.10	2.00 ~3.00	≤0.035
Check	0.061	0.56	1.51	0.026	0.012	12.11	16.14	0.030	2.45	0.020

表 2. 機械的性質

実施場所	試験温度 ℃	引張強さ kg/mm ²	0.2%耐力 kg/mm ²	伸び %	直径変化率 %	縦弾性係数 kg/mm ²	GrainSize ASTM No	硬度 HRC
Spec.		≥60	≥40	≥25			≥6	
ミルシート より	R.T	76.3	67.8	36.0			7.5	24~26.4
		75.8	66.7	34.0			7.5	23.2~24.7
三菱 長研	R.T	75.0	63.0	27.8	26.9	18.3×10 ³		
		74.3	63.7	29.0	28.4	18.5×10 ³		
	300	64.1	55.6	13.0	17.2	17.1×10 ³		
		64.5	54.2	12.0	15.9	16.9×10 ³		
	500	61.8	51.1	18.0	18.3	15.9×10 ³		
		62.6	55.6	15.6	18.6	17.7×10 ³		
神鋼	R.T					20.5×10 ³		
	600					15.6×10 ³		
	650					14.9×10 ³		
	700					14.4×10 ³		

表 3. 各試験温度条件と研究分担

	試験温度 °C	研究分担場所		
		東京大学	三菱神研	三菱長研
等 温	R.T	1.2~5cpm	2~3cpm	
	500	1.2~5cpm	2~3cpm	
	600	1.2~5cpm	2~3cpm	
	650	1.2~5cpm	2~3cpm	
	700	1.2~5cpm	2~3cpm	
熱サイクル	500/250	1.2 cpm		0.6~0.85cpm
	600/250	1.2 cpm		0.6~0.85cpm
	650/250	1.2 cpm		0.6~0.85cpm
	700/250	1.2 cpm		0.6~0.85cpm
	650/370	1.2 cpm		0.6~0.85cpm

表 4. 各研究場所の試験装置主要目

項目	東京大学	三菱神研	三菱長研
形式	油圧サーボ型熱疲労試験機	油圧式低サイクル疲労試験機	油圧式熱疲労試験機
負荷容量	静的 $\pm 15^{\text{TON}}$, 動的 $\pm 10^{\text{TON}}$	$\pm 10^{\text{TON}}$	$\pm 10^{\text{TON}}$
最大変位	静的 $\pm 50^{\text{mm}}$, 動的 $\pm 2.5^{\text{mm}}$		$\pm 20^{\text{mm}}$
荷重検出	差動変圧器	ストレインゲージ式ロードセル	ストレインゲージ式ロードセル
ひずみ検出	差動変圧器	ストレインゲージ式非接着形検出器	差動変圧器
加熱方法	直接通電方式	電気炉加熱方式	直接通電方式
最高加熱温度	$\sim 1000^{\circ}\text{C}$	$\sim 800^{\circ}\text{C}$	$\sim 800^{\circ}\text{C}$
制御方式	油圧 - サーボ	リミットスイッチ付ひずみ指示計による ON-OFF 制御	電磁弁 - ON-OFF 制御
試験片			

表 5 試験結果 (R.T.)

試験温度 T(°C)	実施 場所	ひずみ振巾 $\epsilon_{ta}(\%)$	塑性ひずみ振巾 $\epsilon_{pa}(\%)$	弾性ひずみ振巾 $\epsilon_{ea}(\%)$	応力範囲 $\sigma_R(\text{kg/mm}^2)$	破断繰返数 $N_f(\text{cycles})$
R.T	東大	1.024	0.692	0.332	117.8	547
		0.75	0.39	0.36	113.0	1048
		0.50	0.257	0.243	102.6	1628
		0.412	0.136	0.276	90.0	3034
		0.34	0.07	0.27	96.2	8756
	三菱 神研	3.00				座屈
		1.82	1.53	0.29	127.0	128
		1.30	0.92	0.38	—	269
		1.06	0.75	0.31	115.5	565
		0.67	0.42	0.25	109.0	1348
		0.47	0.27	0.20	97.5	2947
		0.39	0.19	0.20	99.3	2644
		0.40	0.21	0.19	94.0	5487
		0.34	0.139	0.201	90.8	8412

表 6. 試験結果 (500°C, 500/250°C)

試験温度 T(°C)	実施 場所	ひずみ振巾 $\epsilon_{ta}(\%)$	塑性ひずみ振巾 $\epsilon_{pa}(\%)$	弾性ひずみ振巾 $\epsilon_{ea}(\%)$	応力範囲 $\sigma_R(\text{kg/mm}^2)$	破断繰返数 $N_f(\text{cycles})$		
500	東大	1.036	0.664	0.372	105.1	106		
		0.508	0.204	0.304	90.9	486		
		0.436	0.15	0.286	86.4	1091		
		0.34	0.08	0.26	88.2	2359		
		0.285	0.05	0.235	81.0	3022		
		0.248	0.027	0.221	74.0	4143		
		0.226	0.01	0.216	50.5	19017		
	三菱 神研	1.78	1.46	0.32	115.8	13		
		1.56	1.28	0.28	—	6		
		0.92	0.72	0.20	100.5	103		
		0.77	0.48	0.29	—	127		
		0.67	0.40	0.27	93.0	432		
		0.64	0.33	0.31	100.0	245		
		0.53	0.26	0.27	—	492		
		0.39	0.119	0.271	89.0	1552		
		0.32	0.077	0.243	87.5	2533		
		0.27	0.044	0.226	85.0	6670		
		500/ 250	東大	1.008	0.70	0.308	114.0	100
				0.93	0.598	0.332	110.2	123
0.81	0.424			0.386	110.0	239		
0.595	0.185			0.41	102.2	698		
0.48	0.16			0.32	98.7	694		
三菱 長研	1.5		1.135	0.365	130.6	33		
	1.1		0.765	0.335	119.8	111		
	0.85		0.525	0.325	117.1	197		
	0.7		0.385	0.315	113.0	243		
	0.6		0.315	0.285	103.0	565		
	0.5		0.215	0.285	101.7	1180		
	0.4		0.155	0.245	88.2	2453		
	0.3		0.07	0.23	82.8	5790		

表 7. 試験結果 (600 °C, 600/250 °C)

試験温度 T(°C)	実施 場所	ひずみ振巾 $\epsilon_{ta}(\%)$	塑性ひずみ振巾 $\epsilon_{pa}(\%)$	弾性ひずみ振巾 $\epsilon_{ea}(\%)$	応力範囲 $\sigma_R(\text{kg/mm}^2)$	破断繰返数 $N_f(\text{cycles})$	
600	東大	1.046	0.789	0.257	72.7	65	
		0.62	0.33	0.29	73.7	195	
		0.42	0.20	0.22	65.0	290	
		0.33	0.164	0.166	59.1	619	
		0.285	0.055	0.23	52.1	2274	
		0.204	0.035	0.169	45.0	4086	
	三菱 神研	1.74	1.50	0.24	87.7	14	
		1.58	1.21	0.37	96.2	25	
		0.92	0.74	0.18	97.5	92	
		0.67	0.42	0.25	78.5	260	
		0.43	0.26	0.17	71.5	566	
		0.38	0.155	0.225	79.0	865	
		0.30	0.08	0.22	69.2	1774	
		0.26	0.069	0.191	76.0	1248	
		0.26	0.08	0.18	—	3026	
		0.21	0.054	0.156	64.0	6245	
	600/250	東大	1.23	0.86	0.37	121.96	41
			0.835	0.491	0.344	107.4	133
0.71			0.38	0.33	103.2	181	
0.521			0.24	0.281	94.4	333	
0.38			0.094	0.286	86.8	920	
三菱 長研		1.5	1.175	0.325	111.1	17	
		1.1	0.78	0.33	108.4	47	
		0.85	0.545	0.305	103.0	98	
		0.7	0.42	0.28	94.9	109	
		0.5	0.215	0.285	96.5	305	
		0.4	0.15	0.25	85.6	480	
		0.3	0.105	0.195	66.4	1010	
		0.22	0.07	0.15	50.2	2520	

表 8 試験結果 (650°C, 650/250°C)

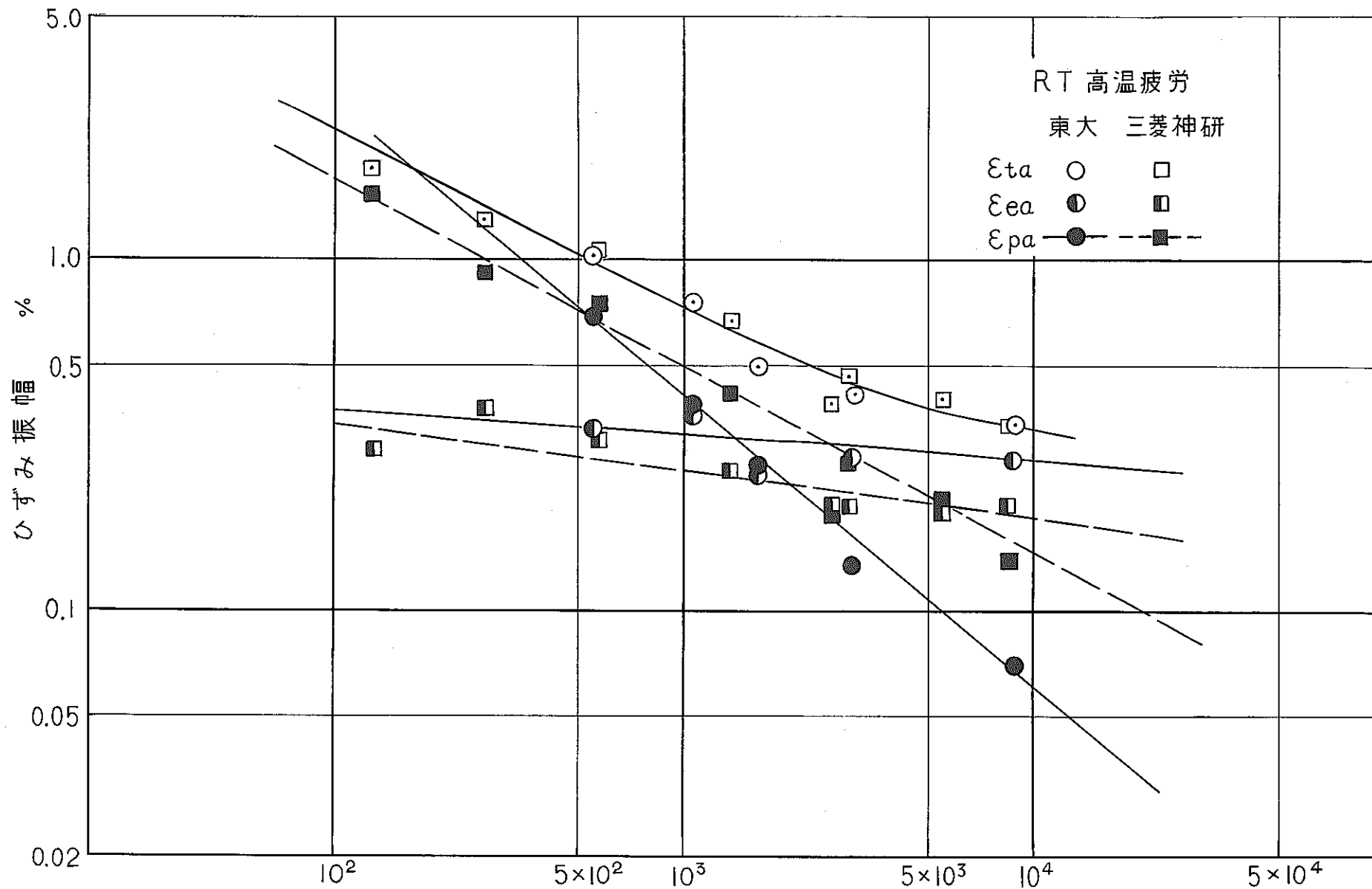
試験温度 T(°C)	実施 場所	ひずみ振幅 $\epsilon_{ta}(\%)$	塑性ひずみ振幅 $\epsilon_{pa}(\%)$	弾性ひずみ振幅 $\epsilon_{ea}(\%)$	応力範囲 $\sigma_R(\text{kg/mm}^2)$	破断繰返数 $N_f(\text{cycles})$
650	東大	1.028	0.744	0.284	72.4	58
		0.59	0.388	0.202	68.8	176
		0.408	0.224	0.184	54.1	360
		0.366	0.164	0.202	53.7	559
		0.24	0.063	0.177	48.9	1526
		0.21	0.05	0.16	46.3	1856
	三菱 神研	0.18	0.028	0.152	48.5	6038
		1.90	1.73	0.17	76.5	21
		1.44	1.16	0.28	76.5	72
		1.00	0.77	0.23	75.1	94
		0.67	0.53	0.14	65.0	220
		0.50	0.36	0.14	62.6	455
		0.38	0.165	0.215	66.5	749
		0.24	0.098	0.142	50.0	4035
		0.24	0.087	0.153	—	2129
		0.24	0.070	0.17	—	2330
		0.21	0.051	0.159	48.9	>11300
		650/250	東大	1.055	0.725	0.33
0.778	0.496			0.282	79.5	137
0.60	0.34			0.24	77.2	251
0.401	0.154			0.247	80.3	430
0.30	0.072			0.228	70.4	1167
三菱 長研	1.5		1.205	0.295	98.1	12
	1.1		0.83	0.27	88.3	32
	0.85		0.60	0.25	82.6	66
	0.7		0.47	0.23	76.4	95
	0.6		—	—	—	—
	0.5		0.285	0.215	71.0	249
	0.4		0.20	0.20	66.7	442
	0.3		0.125	0.175	57.8	745
	0.22		0.07	0.15	42.8	1793

表9. 試験結果 (700°C, 700/250°C)

試験温度 T(°C)	実施 場所	ひずみ振幅 $\epsilon_{ta}(\%)$	塑性ひずみ振幅 $\epsilon_{pa}(\%)$	弾性ひずみ振幅 $\epsilon_{ea}(\%)$	応力範囲 $\sigma_R(\text{kg/mm}^2)$	破断繰返数 $N_f(\text{cycles})$
700	東大	0.60	0.48	0.12	42.1	130
		0.40	0.248	0.152	42.8	166
		0.395	0.20	0.195	44.6	424
		0.325	0.155	0.17	42.2	786
		0.295	0.169	0.126	42.9	1351
		0.18	0.055	0.125	48.5	6060
	三菱 神研	2.00	1.80	0.20	67.0	16
		1.45	1.28	0.17	61.2	40
		0.98	0.82	0.16	-	165
		0.68	0.48	0.20	54.8	165
		0.50	0.26	0.24	55.0	288
		0.39	0.192	0.198	54.5	746
		0.30	0.125	0.175	56.5	1253
		0.25	0.134	0.116	47.0	1920
		0.21	0.087	0.123	43.1	6176
		0.20	0.088	0.112	44.5	2989
		0.17	0.049	0.121	-	9381
		700/250	東大	1.03	0.735	0.295
0.712	0.423			0.299	79.6	183
0.495	0.232			0.263	78.5	333
0.40	0.17			0.23	70.4	487
0.265	0.08			0.185	57.7	1778
三菱 長研	1.5		1.25	0.25	80.2	15
	1.1		-	-	-	-
	1.1		0.86	0.24	77.5	46
	0.85		0.615	0.235	75.8	75
	0.7		0.475	0.225	72.1	128
	0.5		0.29	0.21	67.3	273
	0.4		0.19	0.21	68.1	488
	0.3		0.125	0.175	56.9	917
	0.22		0.06	0.16	51.8	2245

表10 試験結果 (650/370 °C)

試験温度 T(°C)	実施 場所	ひずみ振巾 $\epsilon_{ta}(\%)$	塑性ひずみ振巾 $\epsilon_{pa}(\%)$	弾性ひずみ振巾 $\epsilon_{ea}(\%)$	応力範囲 $\sigma_R(\text{kg/mm}^2)$	破断繰返数 $N_f(\text{cycles})$
650/ 370	東大	1.0	0.615	0.385	90.3	85
		0.8	0.463	0.337	83.2	161
		0.6	0.332	0.268	76.1	266
		0.4	0.128	0.272	65.3	361
		0.305	0.083	0.222	60.7	1170
	三菱 長研	1.3	1.03	0.27	84.0	32
		1.0	0.725	0.275	86.7	62
		0.85	0.555	0.295	92.1	82
		0.6	0.36	0.24	74.8	156
		0.5	0.26	0.24	75.4	258
		0.4	0.195	0.205	65.0	502
		0.3	0.10	0.20	62.8	1080
		0.22	0.075	0.145	45.6	2040



破断までの繰返し数 N_f

図1 疲労曲線

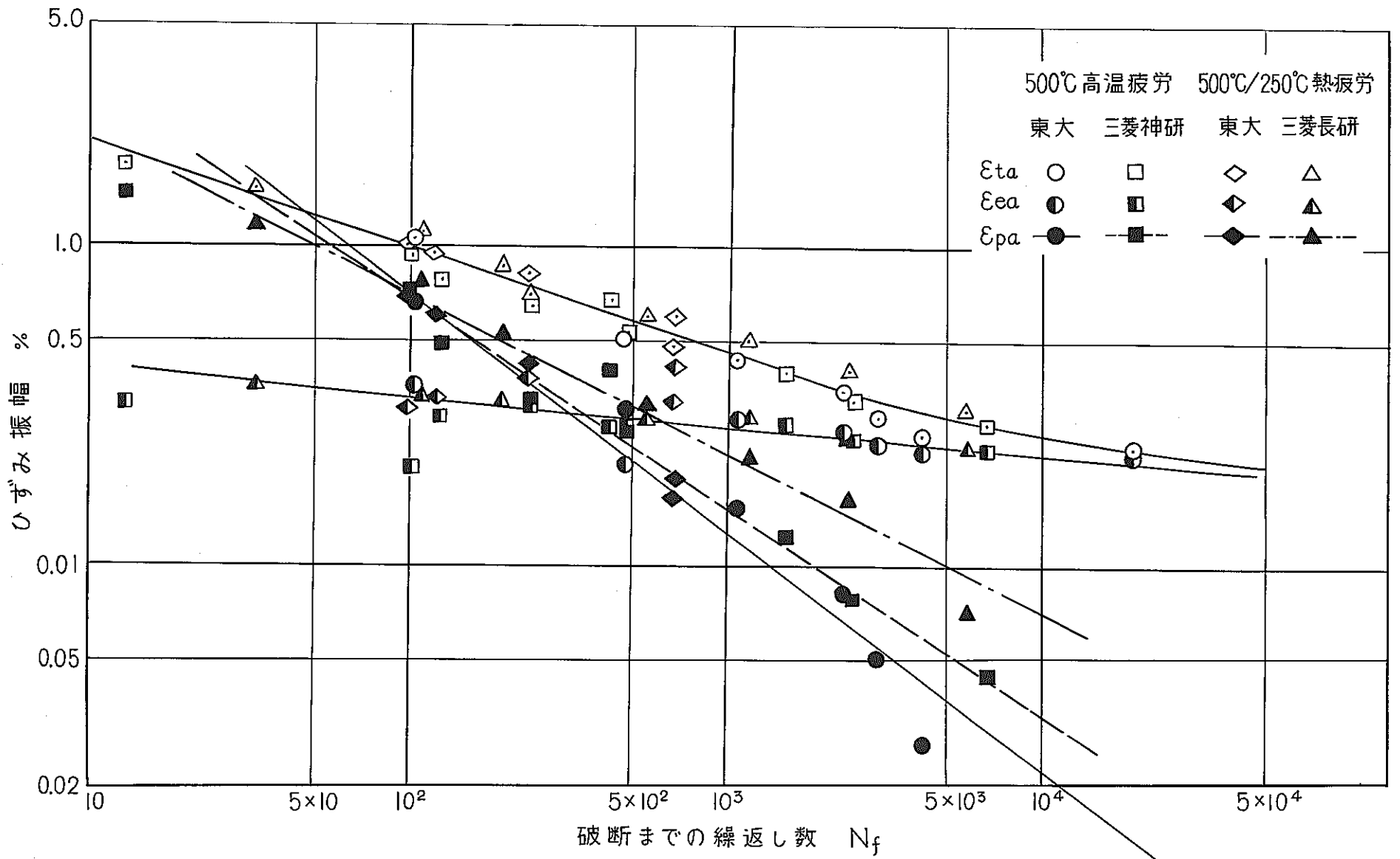


図2 疲労曲線

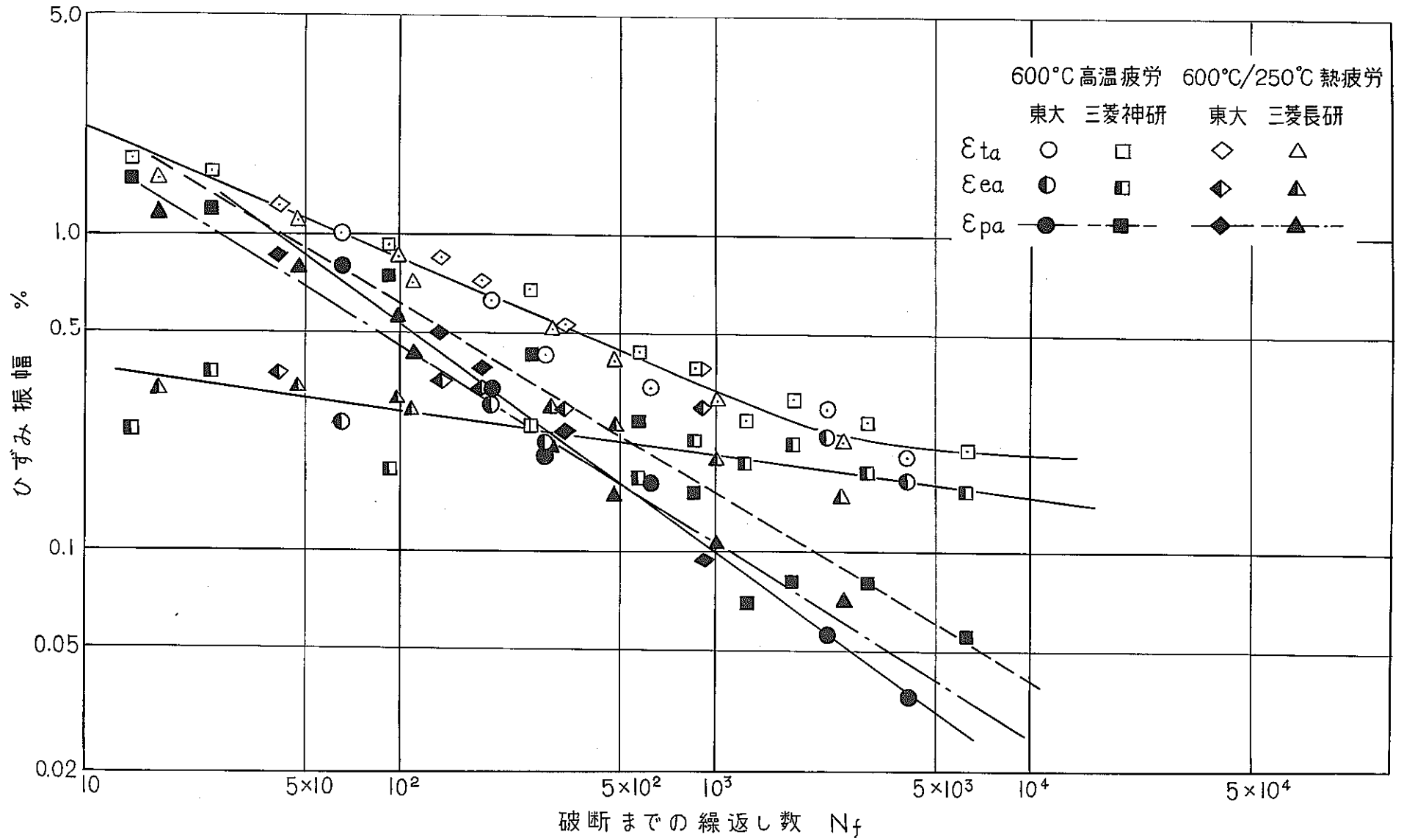


図3. 疲労曲線

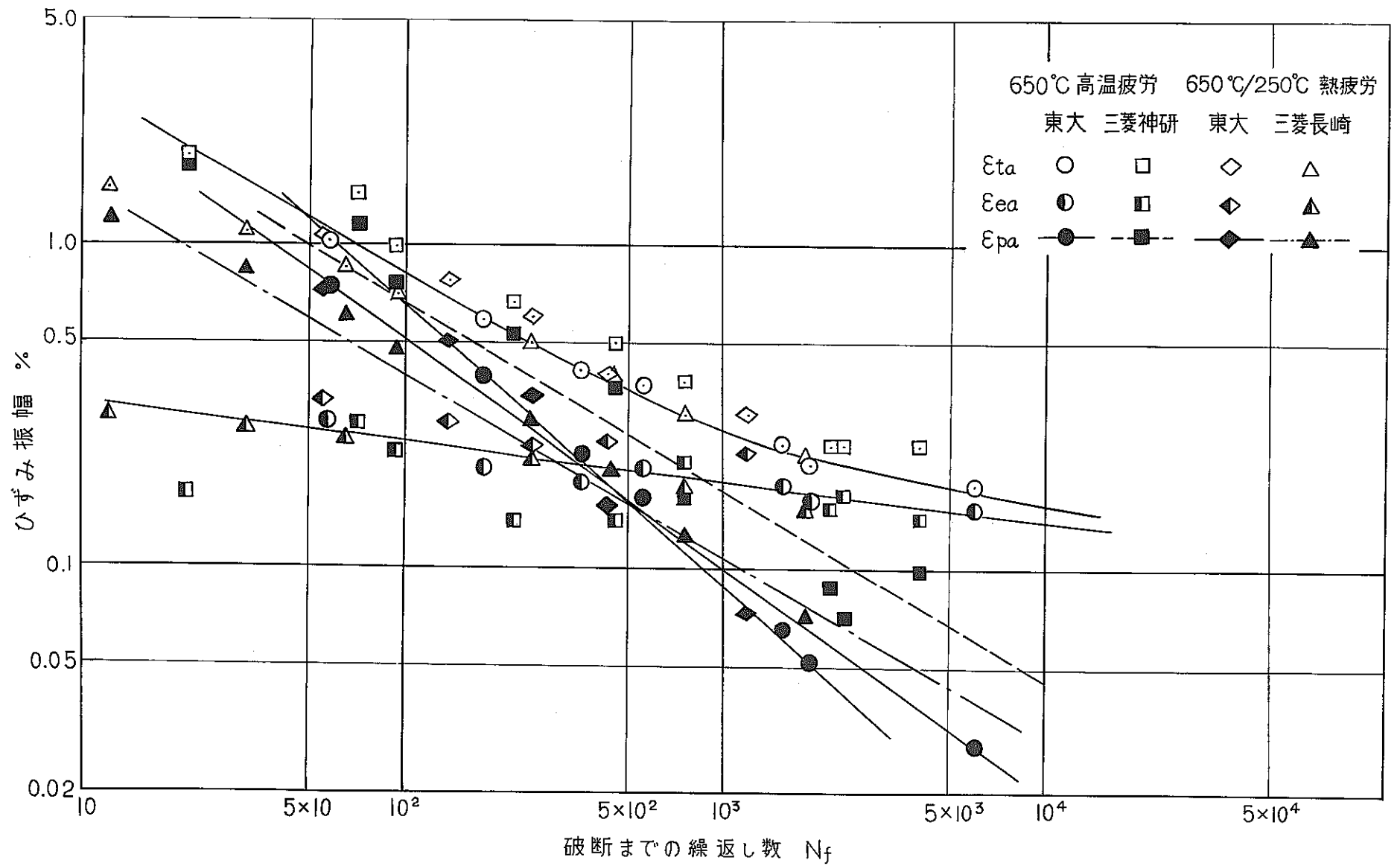


図 4 疲労曲線

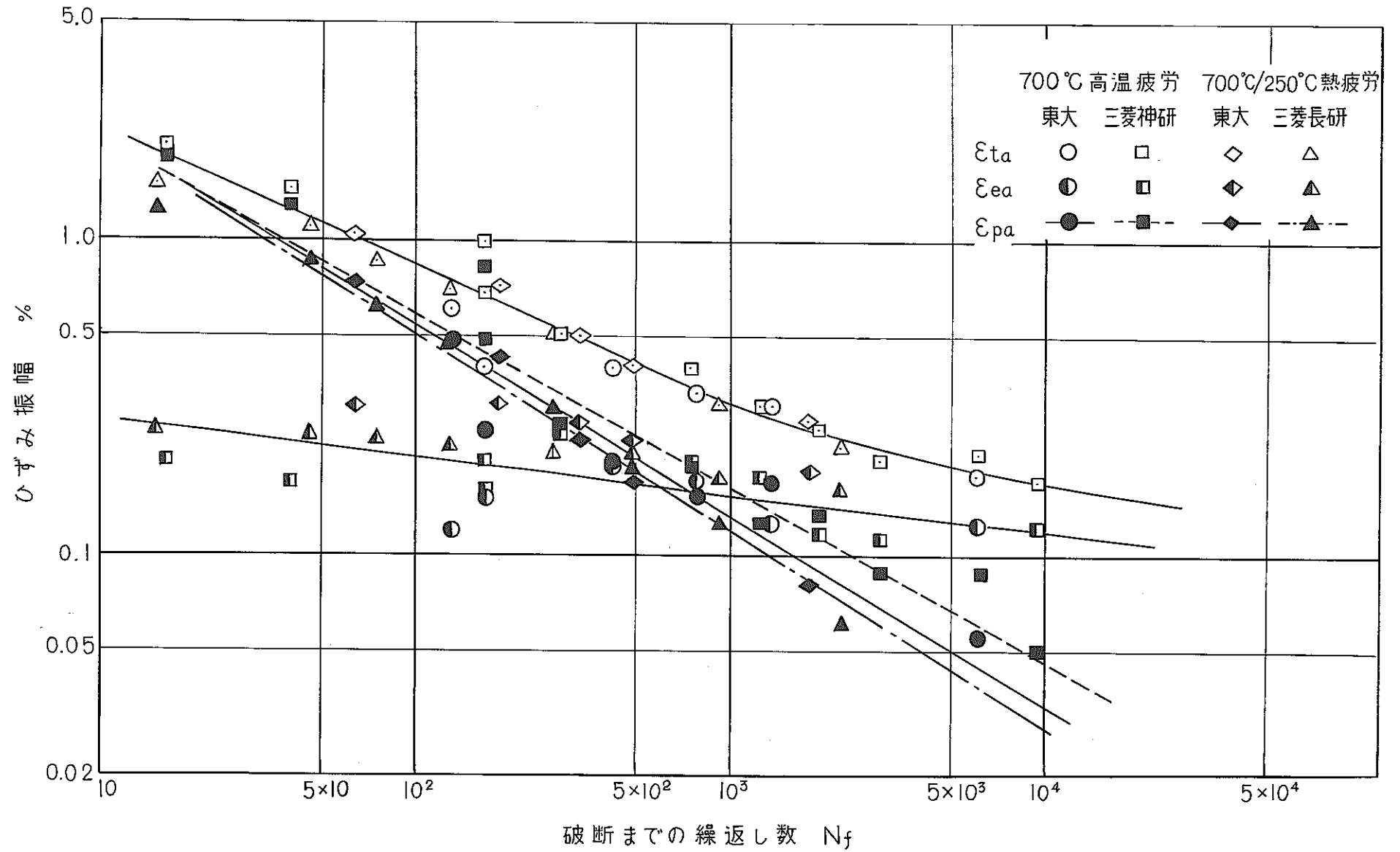


図5 疲労曲線

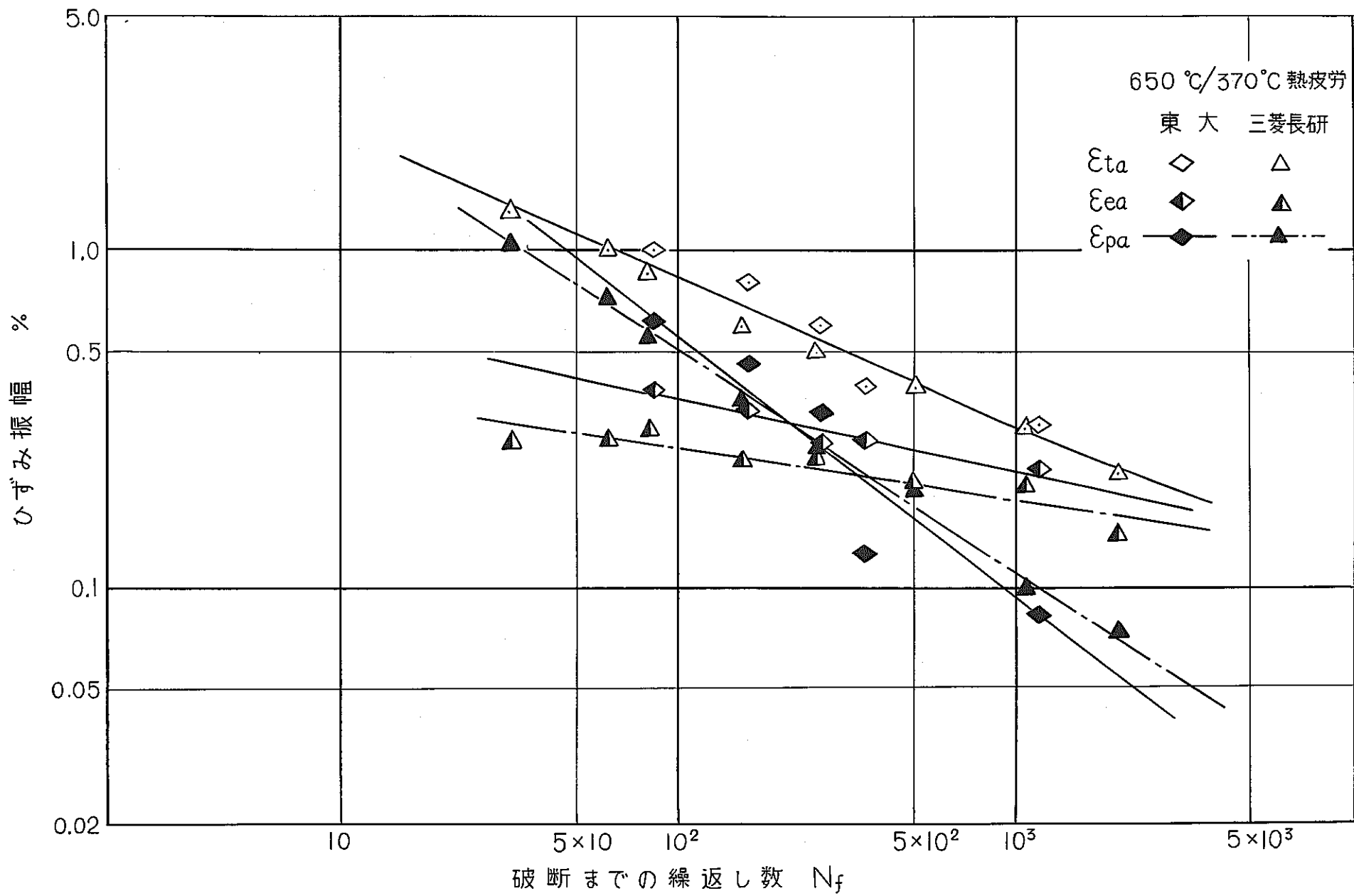


図 6 疲労曲線

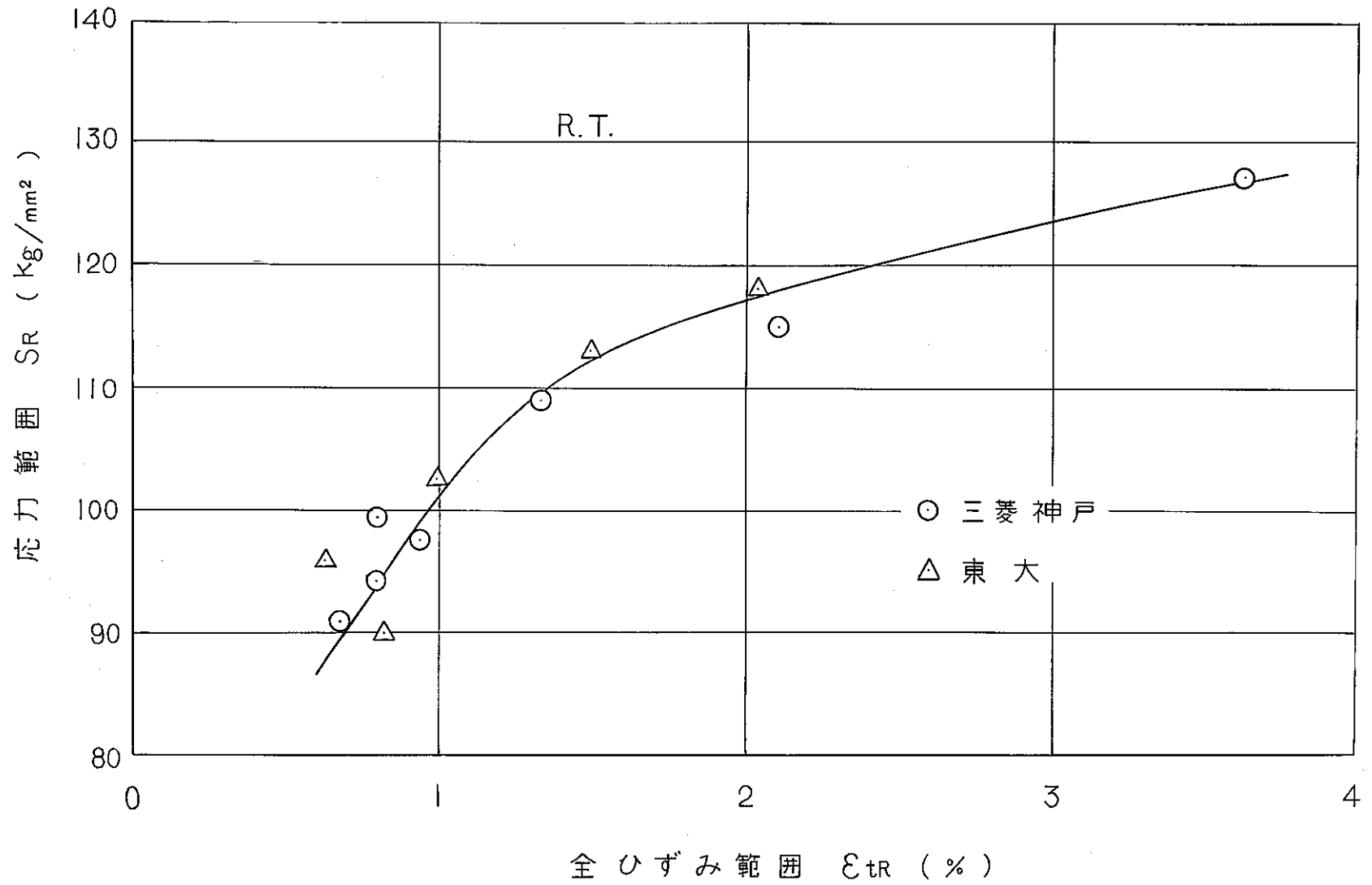


図 7. 繰返し応力ひずみ曲線 (R.T.)

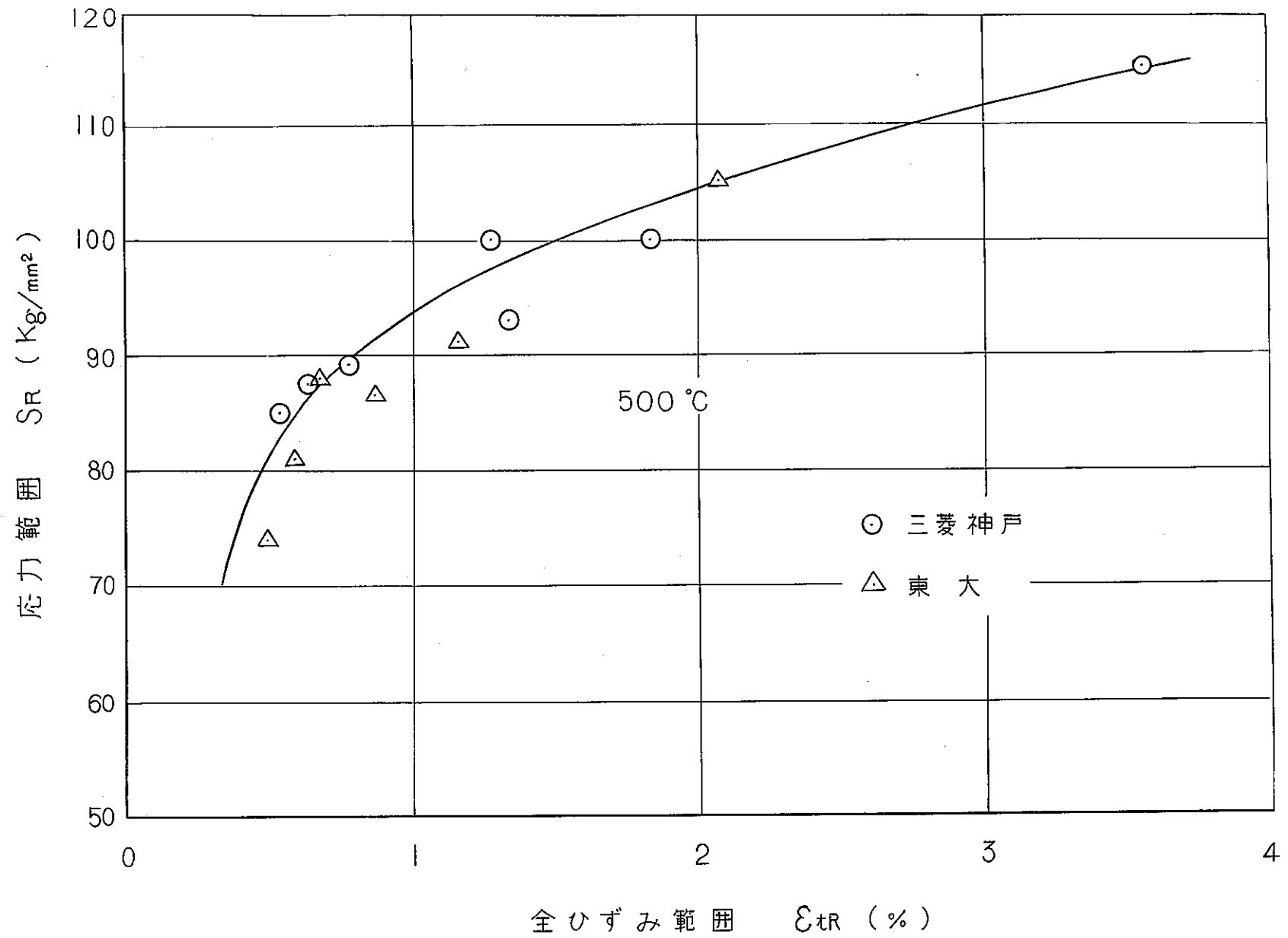


図 8 繰返し応力ひずみ曲線 (500 °C)

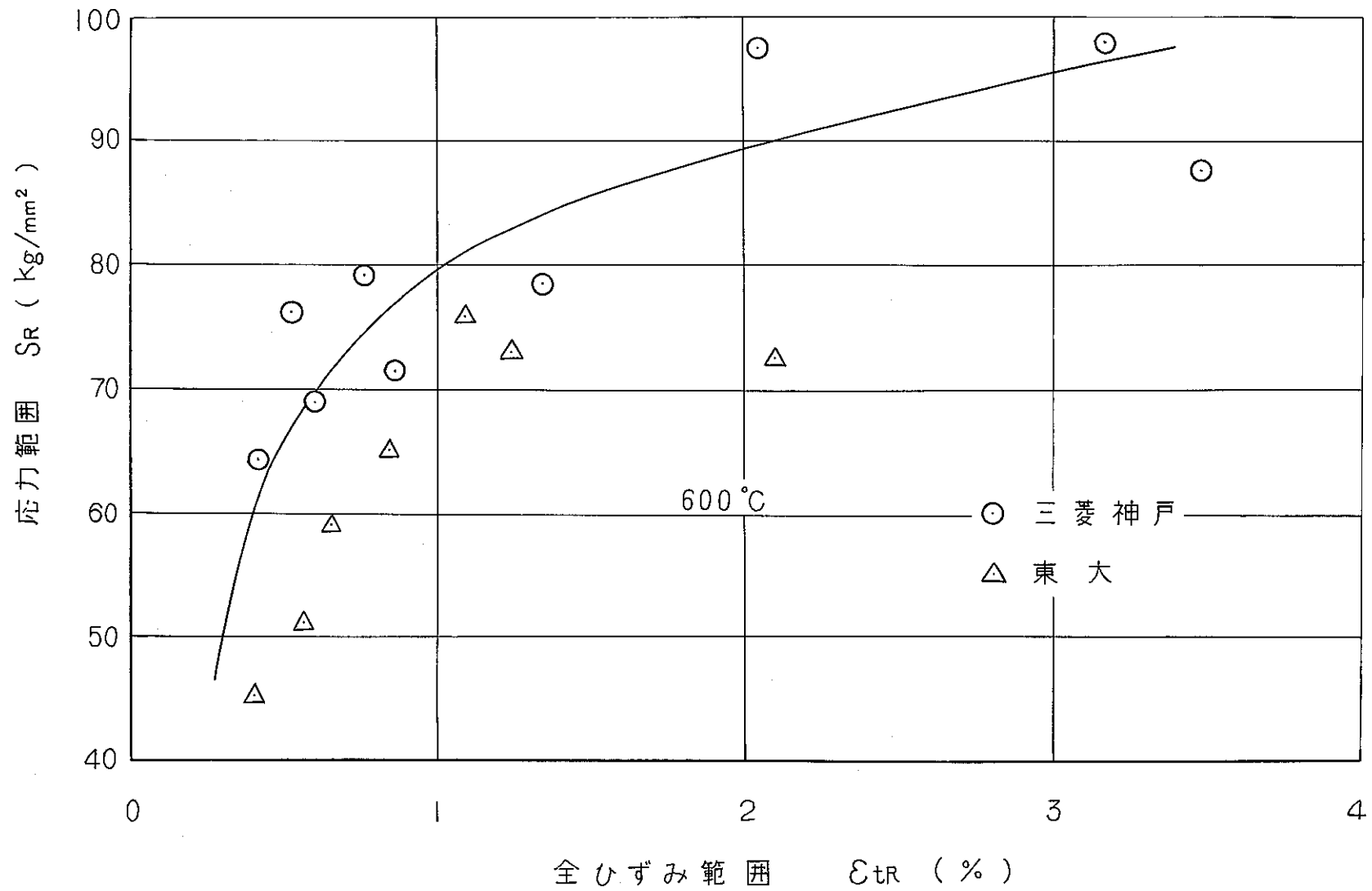


図 9. 繰返し応力ひずみ曲線 (600°C)

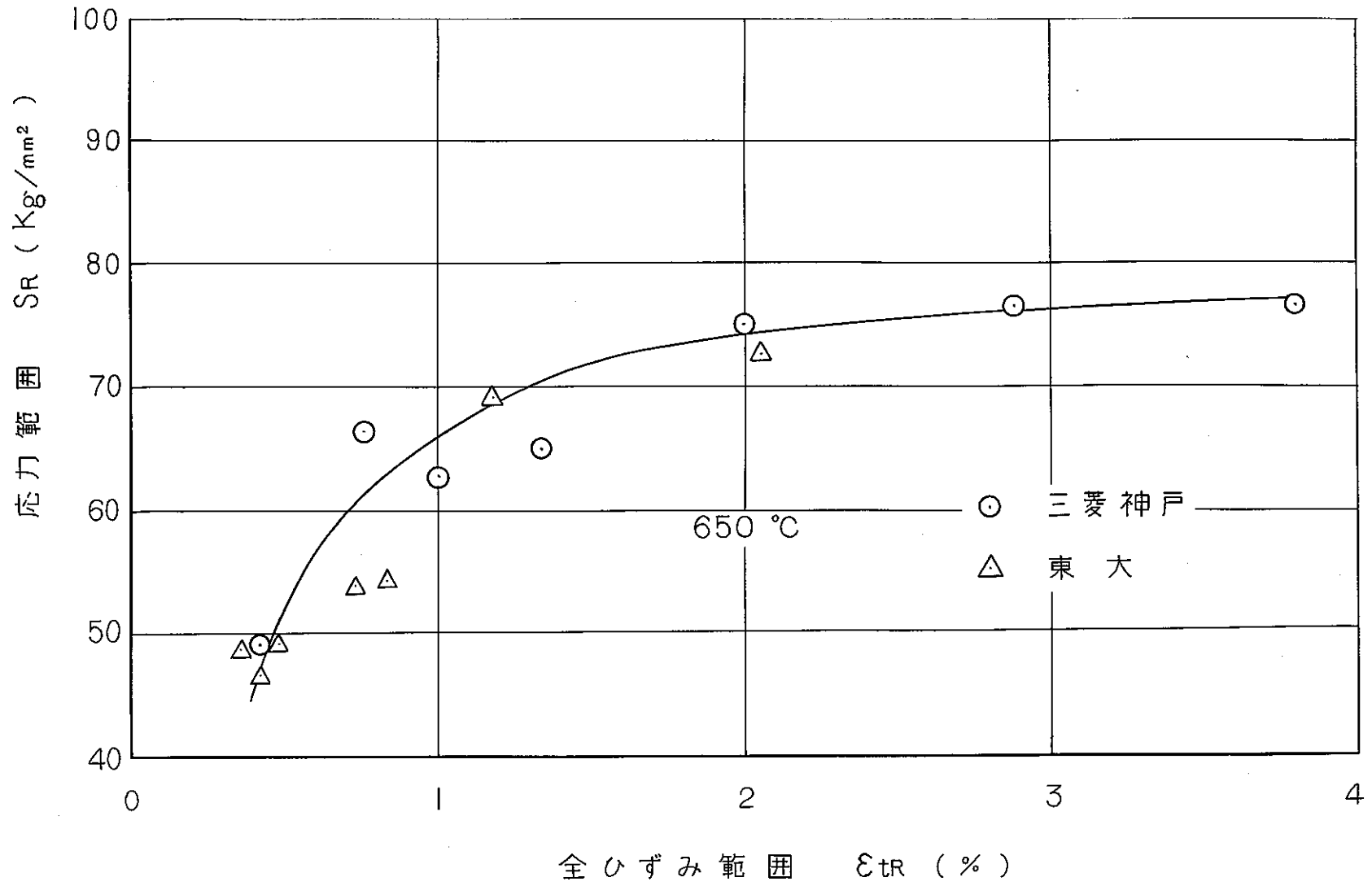


図 10. 繰返し応力ひずみ曲線 (650 °C)

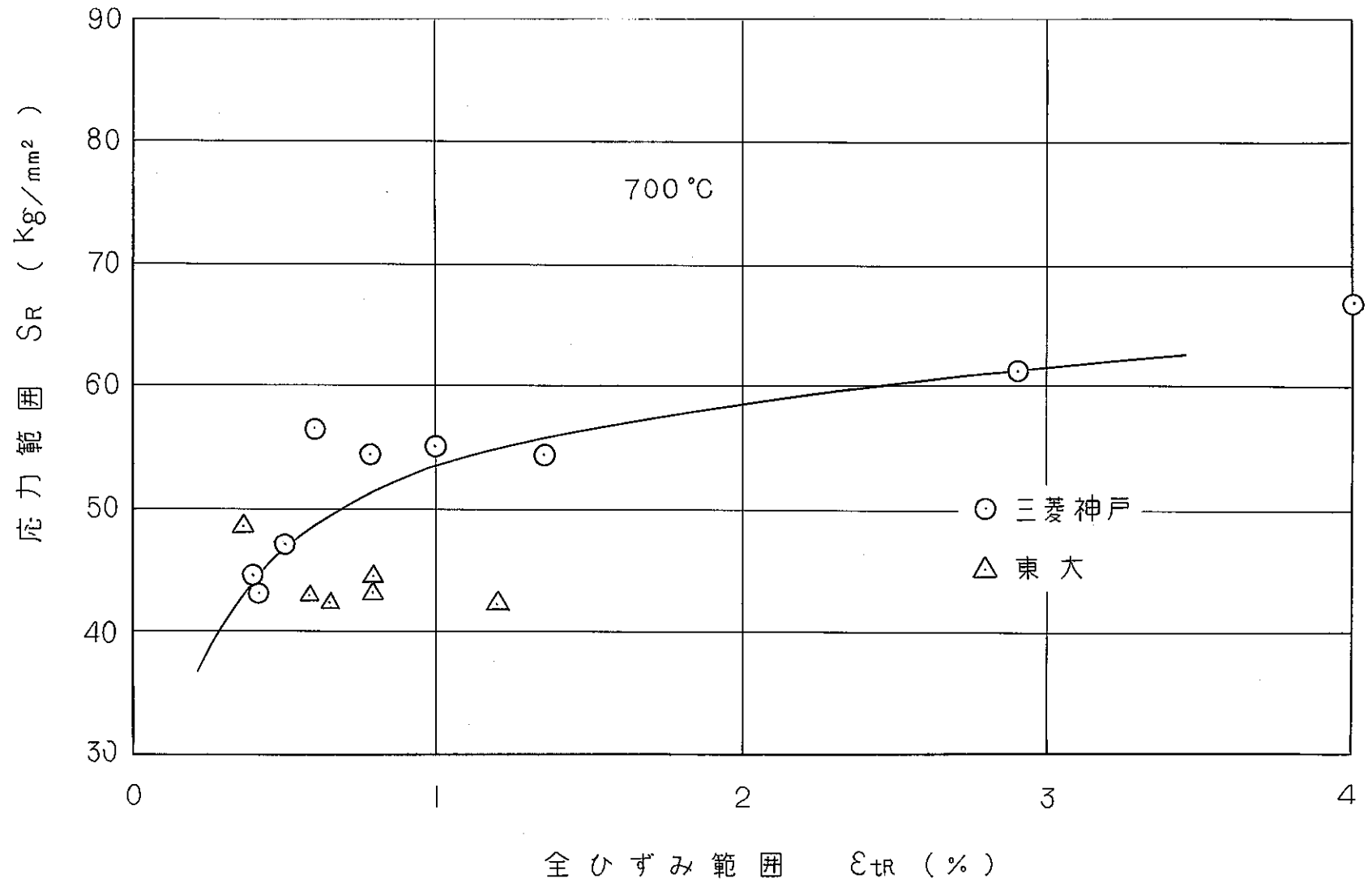


図 11. 繰返し応力ひずみ曲線 (700 °C)

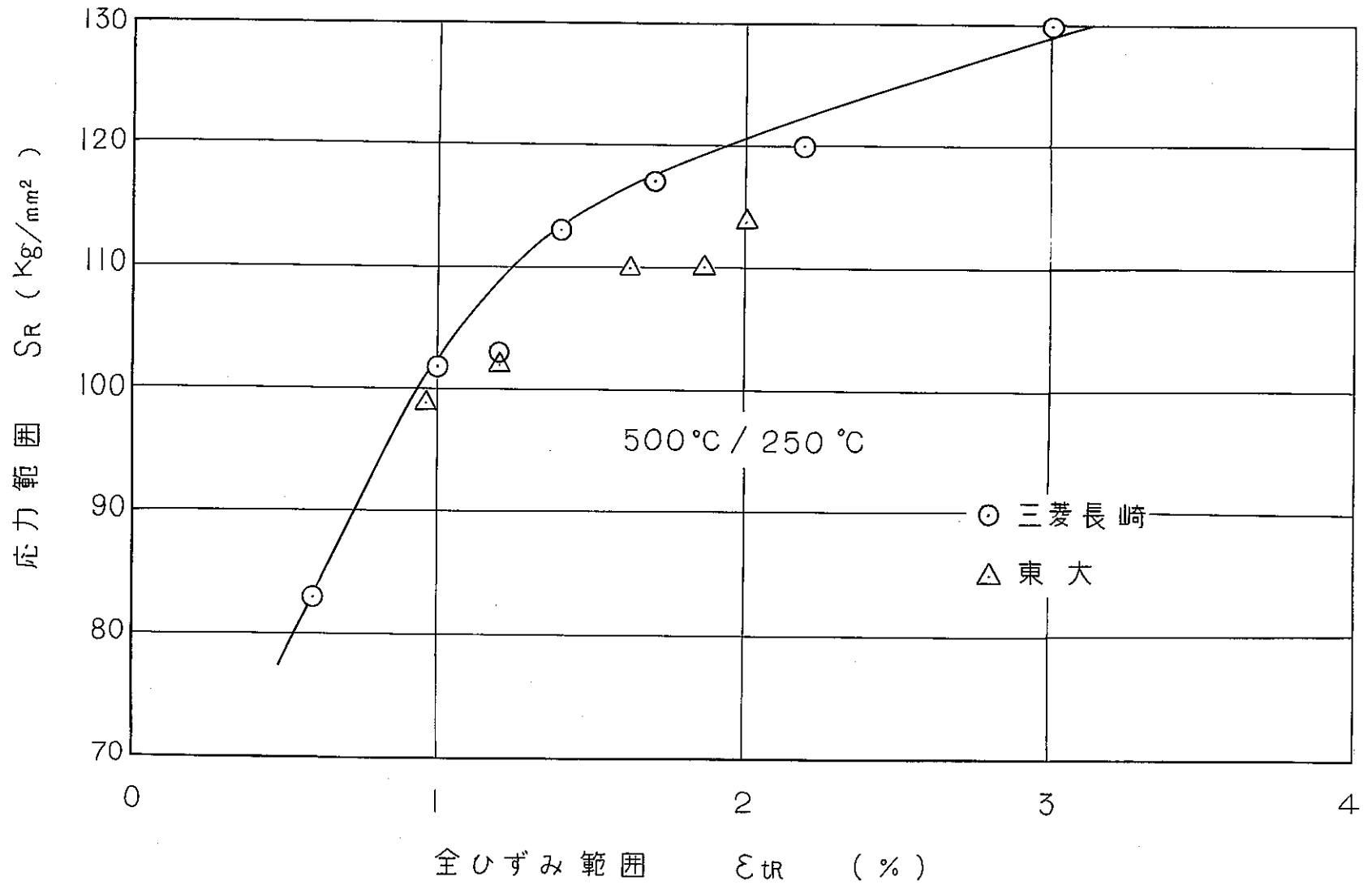


図 12. 繰返し応力ひずみ曲線 (500/250°C)

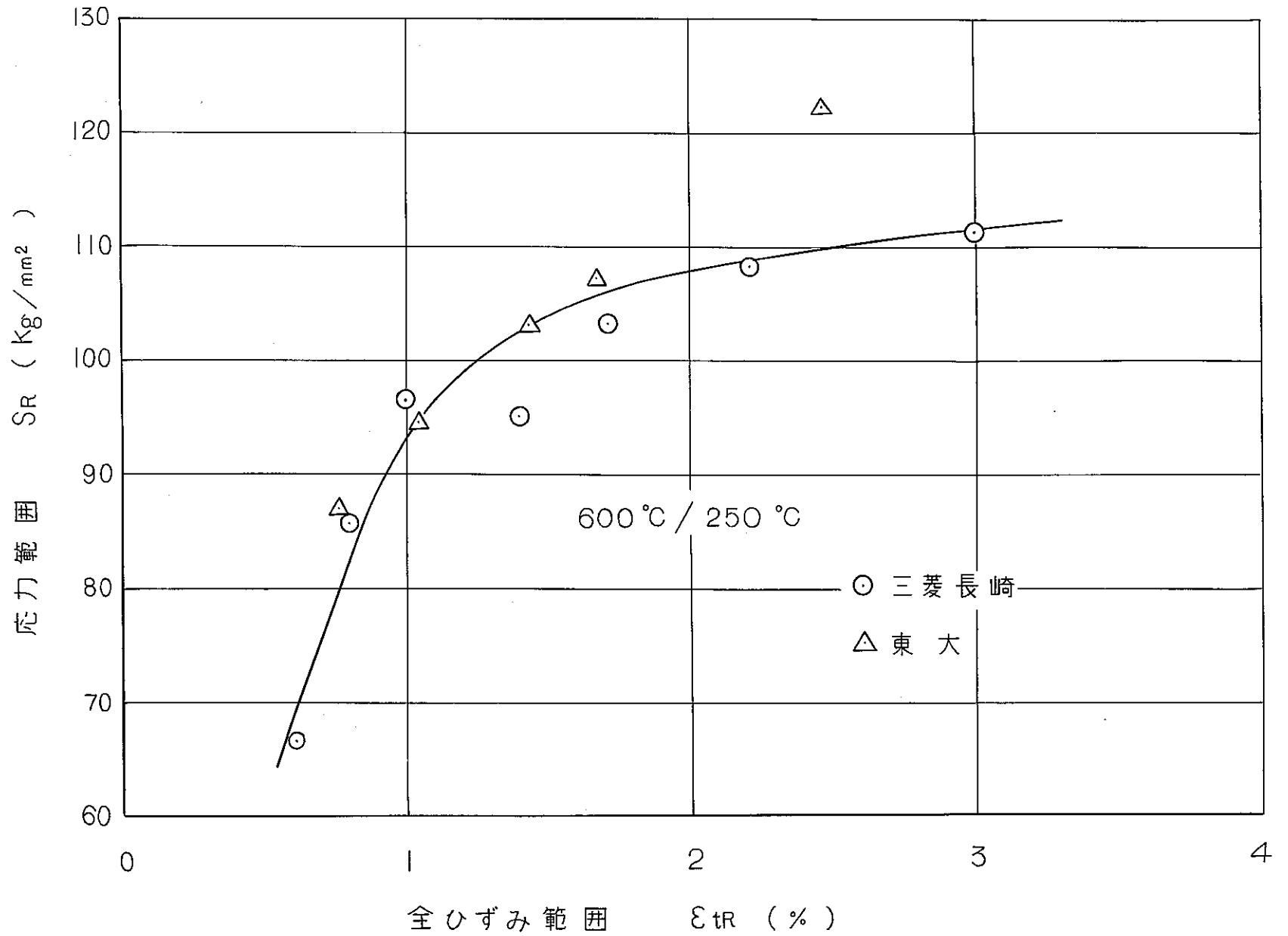


図13. 繰返し応力ひずみ曲線 (600/250°C)

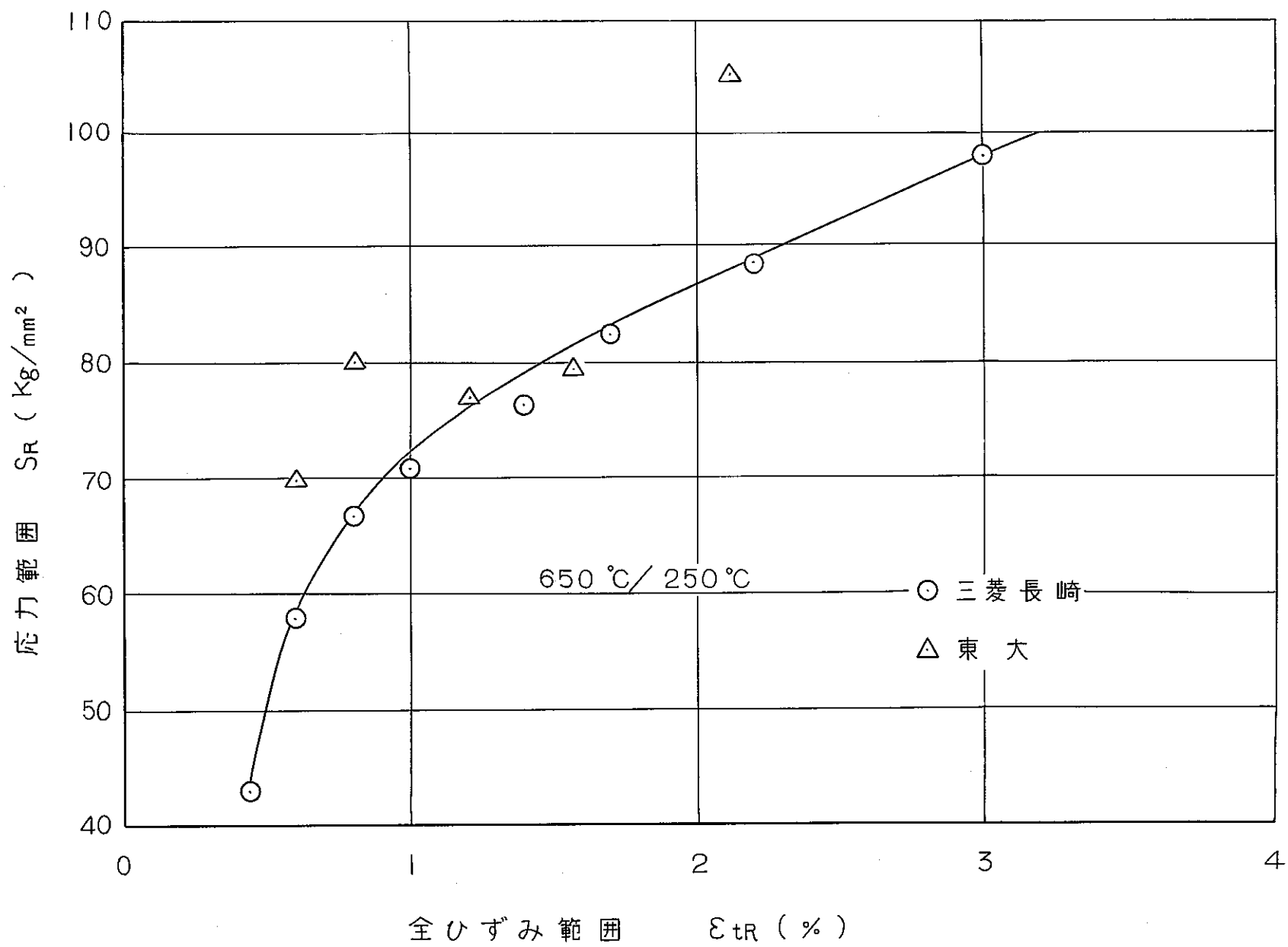


図 14 繰返し応力ひずみ曲線 (650/250 °C)

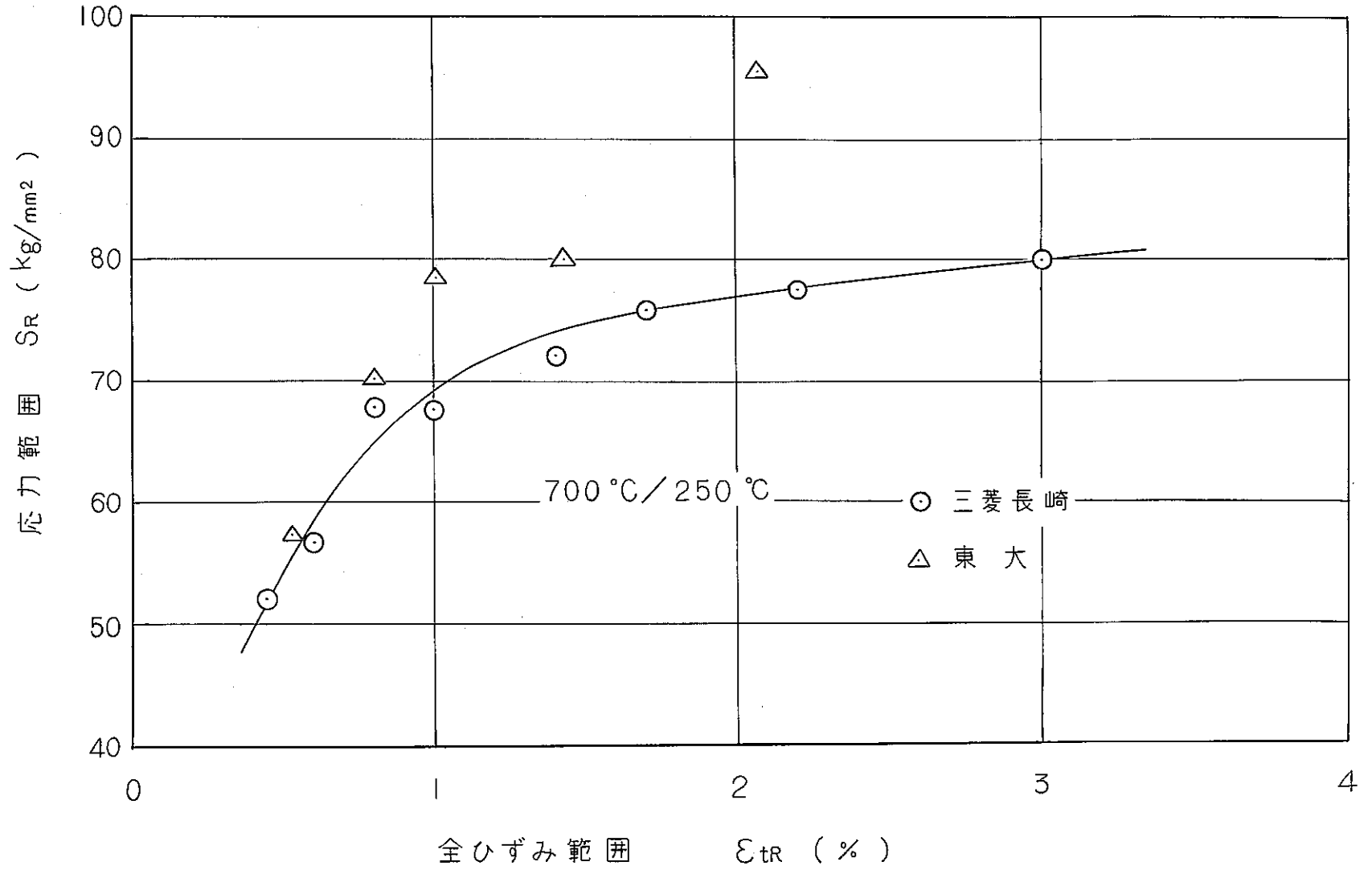


図 15. 繰返し応力ひずみ曲線 (700/250 °C)

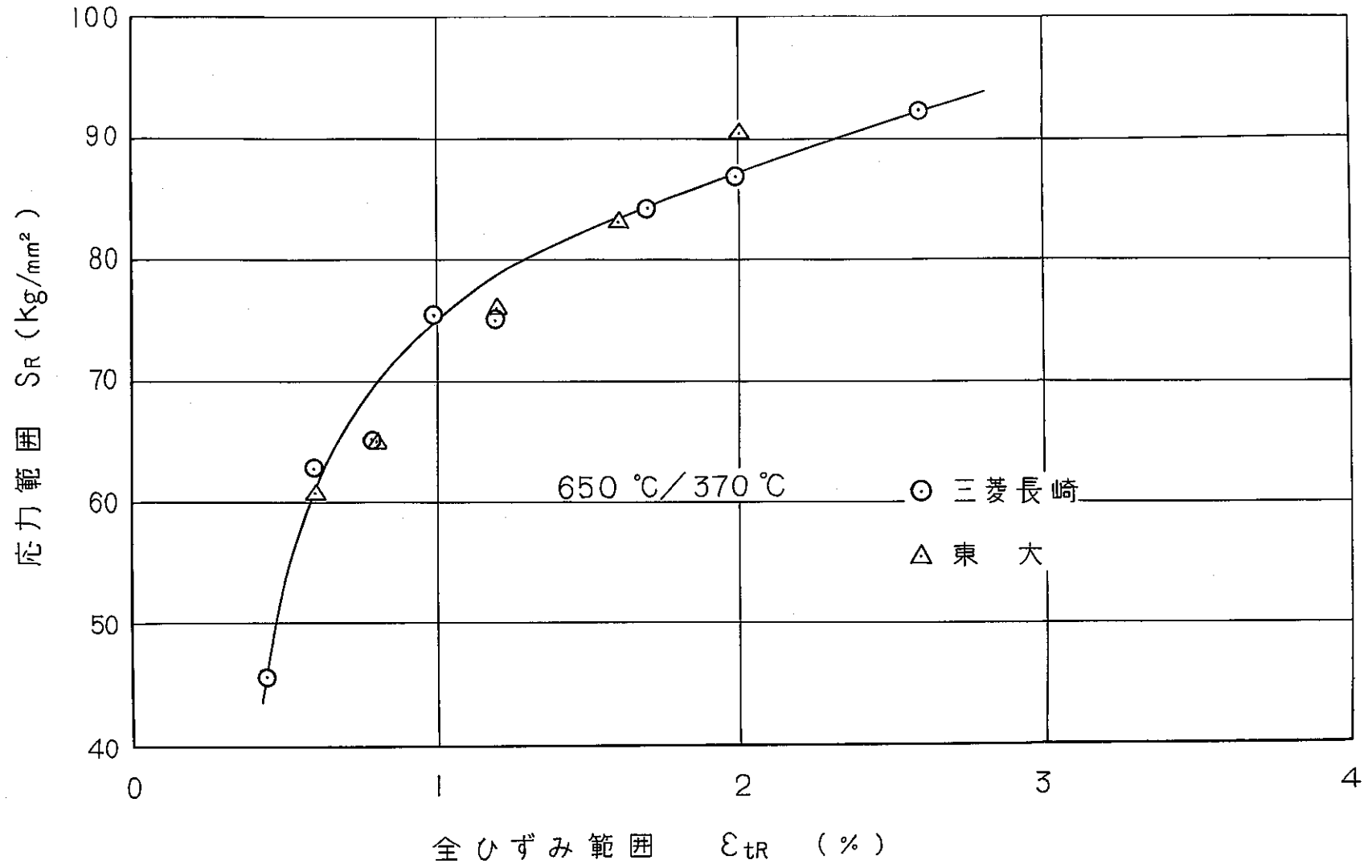


図 16. 繰返し応力ひずみ曲線 (650/370 °C)

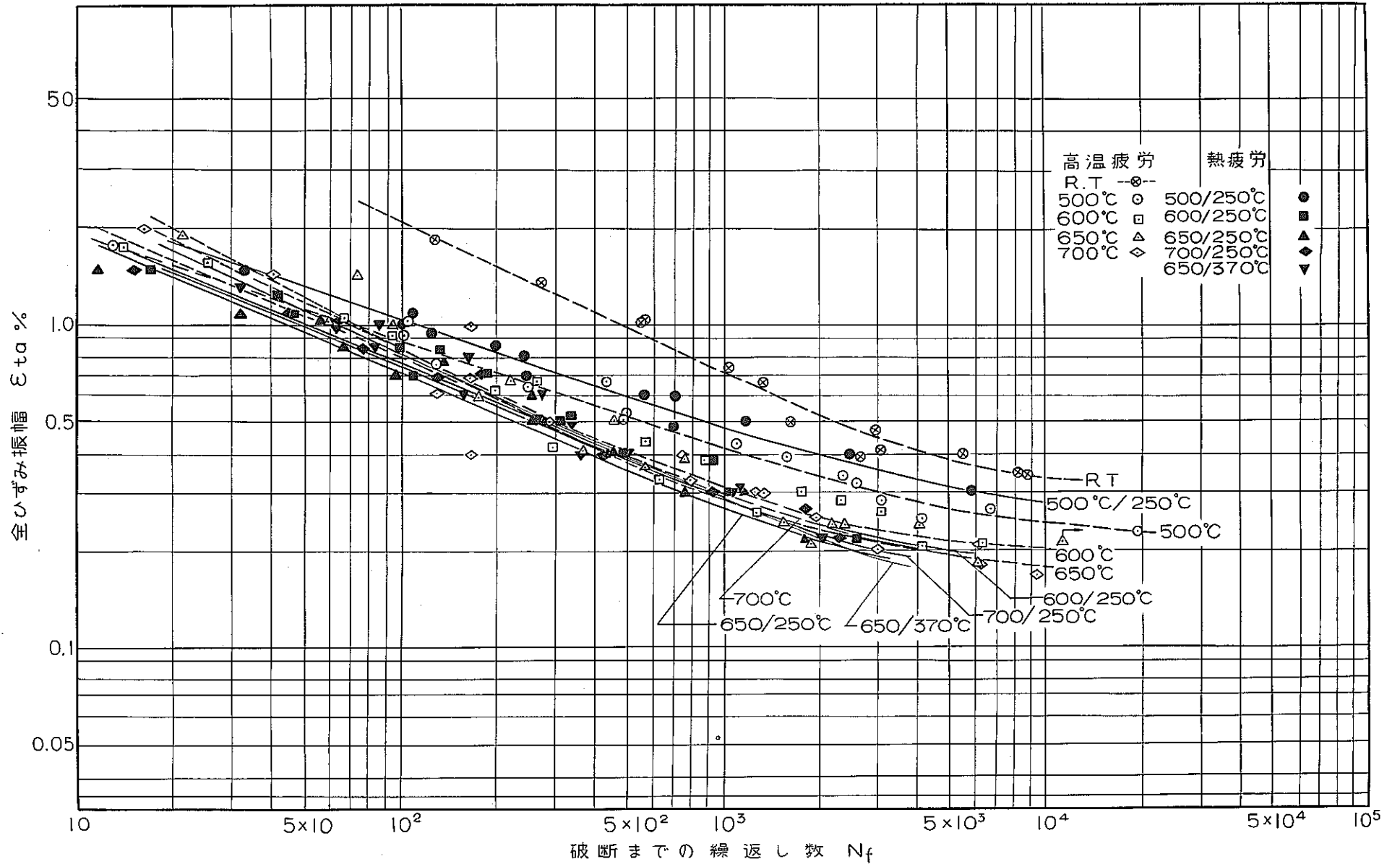


図 17. $E_{t0} - N_f$ 線図

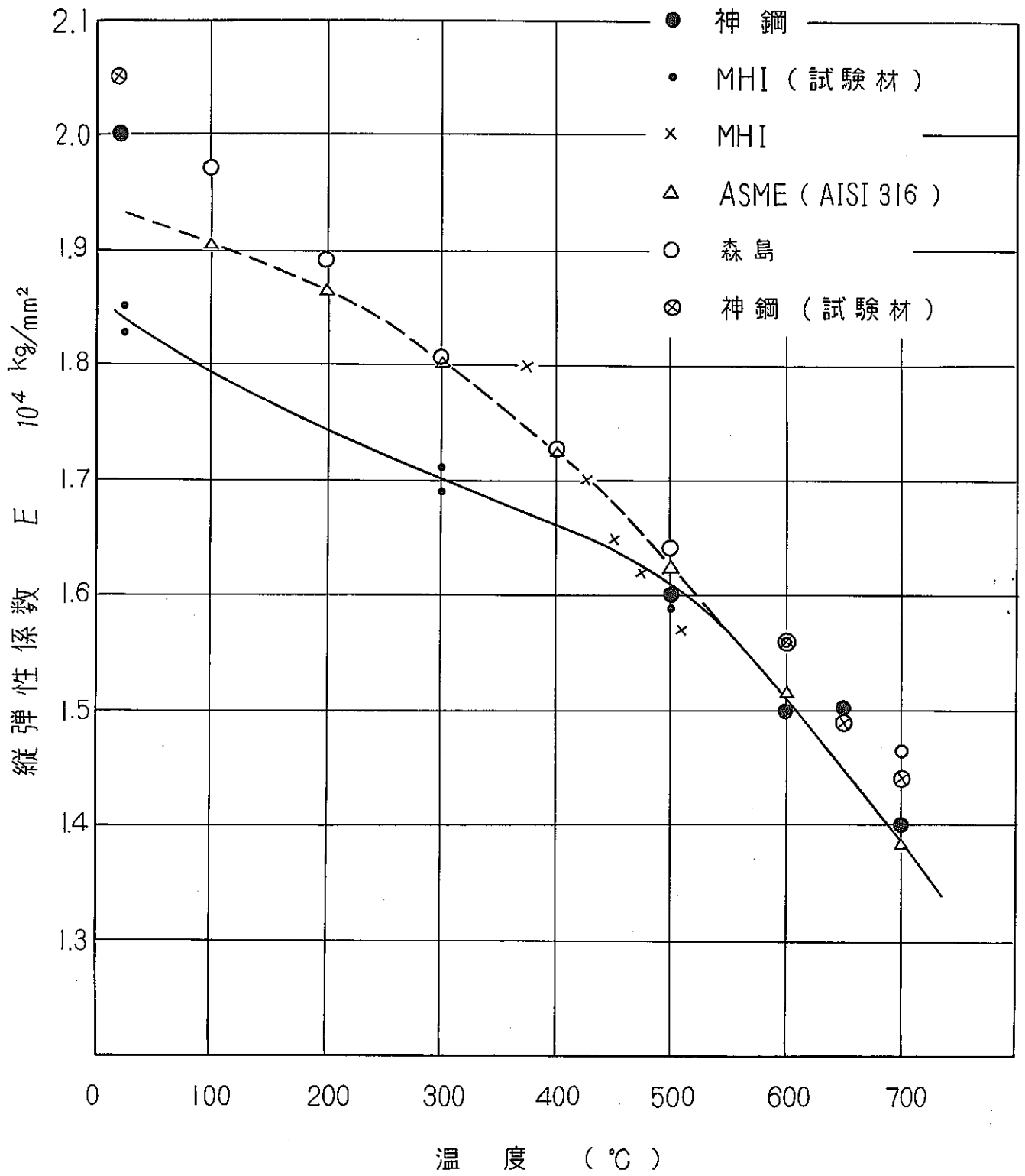


図 18 SUS 32 の縦弾性係数

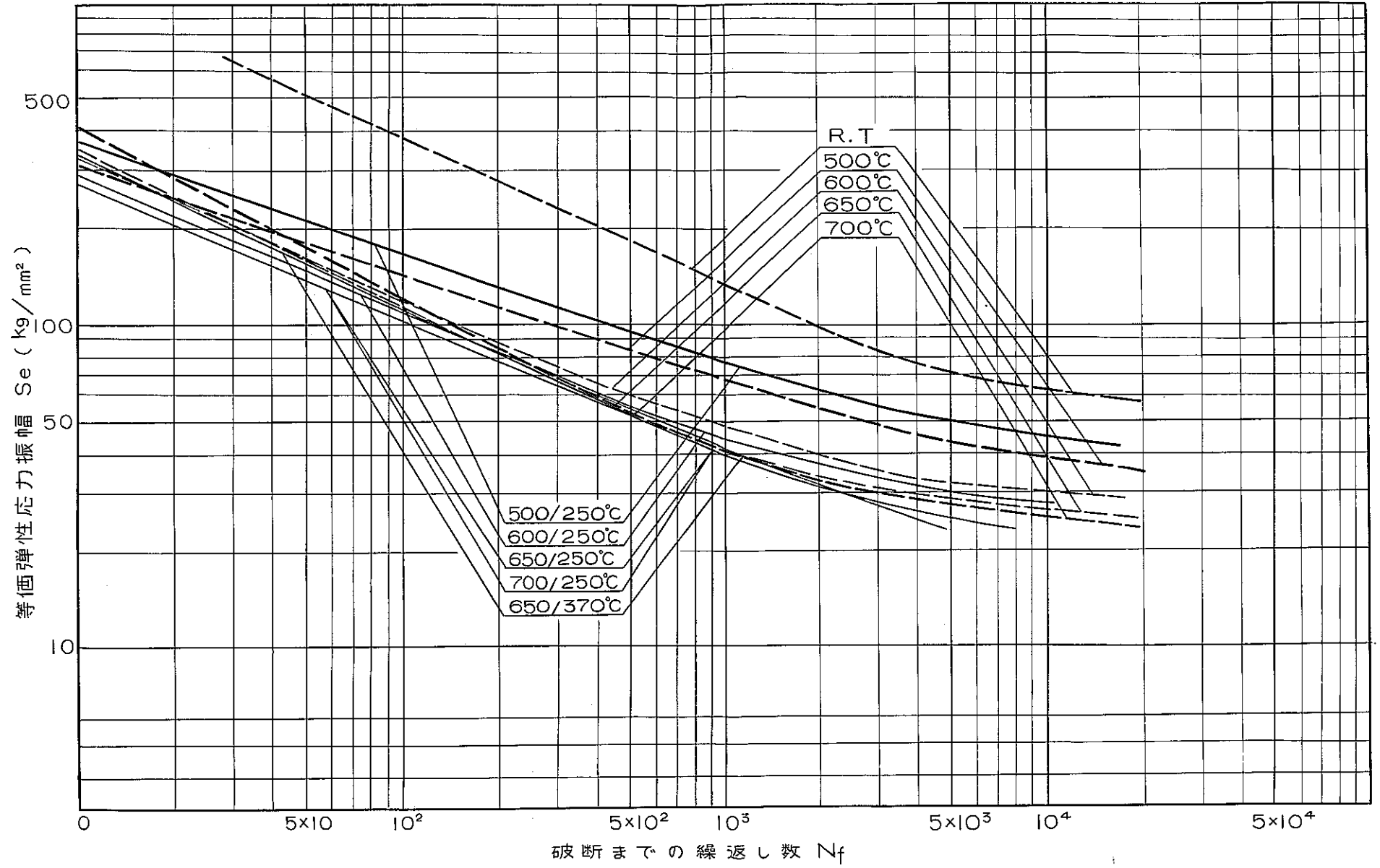


図 19 $S_e \sim N_f$ 線図