

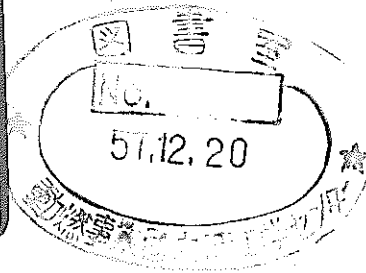
N 241 72 - 43

開示制限

区分変更	
変更後資料番号	<del>72-43</del>
決裁年月日	平成 13 年 11 月 30 日

# 高速実験炉用燃料被覆管の クリープ試験 (才2次試験)

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
S	N 241 72 - 43
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	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	



昭和47年11月

動力炉・核燃料開発事業団  
FBR材料専門委員会 構造設計委員会  
クリープサブグループ  
(主査 吉 田 進)

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

## 担 当 者

主 査	吉 田 進	(金属材料技術研究所)
担 当	田 中 千 秋	(金属材料技術研究所)
	太 田 定 雄	(神 戸 製 鋼 所)
	藤 原 優 行	(神 戸 製 鋼 所)
	行 俊 照 夫	(住 友 金 属 工 業)
	阿 部 隆	(住 友 金 属 工 業)
	牧 英 夫	(日 立 製 作 所)
	原 照 雄	(日 立 製 作 所)
	渡 辺 一 恒	(東 京 芝 浦 電 気)
	青 木 利 昌	(動 燃 事 業 団)
	小 原 勝 昭	(動 燃 事 業 団)

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 供 試 材 料 .....	1
3. 試 験 方 法 .....	2
4. 試 験 条 件 .....	2
5. 試 験 結 果 .....	2
6. 試 験 結 果 の 整 理 .....	3
7. ま と め .....	13
8. 付 図 .....	14
9. 付 録 .....	(1)

## 1. 緒 言

動力炉核燃料開発事業団が現在建設中である高速実験炉「常陽」の燃料被覆管としてオーステナイトステンレス鋼管 (AISI 316) が使用される事が決定しており、数次にわたる試作を経て、現在実機用被覆管が製造されつつある。

この鋼種を使用するにあたっては、(1)高温強度特性、(2)照射特性、(3)Na中腐食特性、等を把握しておく事が必要であり、(2)および(3)項については現在実験が進行しつつある。(1)項のうち特に重要なクリープ特性については、動燃事業団に燃料構造設計委員会(主査: 鶴戸口英善)クリープサブグループ(主査: 吉田 進)を組織し、金属材料技術研究所、神戸製鋼所、住友金属工業、日立製作所、東京芝浦電気および動燃事業団が参画して各種の試験を分担している。

第1次試験計画では、「常陽」用第1次試作炉心燃料被覆管(6.3 $\phi$ ×0.35 t; A材, B材の2種類)について、内圧タリーブ破断試験、単軸クリープおよびクリープ破断試験を実施した。そして、600 $^{\circ}$ C, 650 $^{\circ}$ C, 700 $^{\circ}$ Cおよび750 $^{\circ}$ Cの試験温度において得られた最長約10,000hrまでのデータについて総合的な検討を加え、すでに報告(SN 241, 71, 55)した。

本報告は前記サブグループにおける第2次計画の結果に関するものである。すなわち、「常陽」用第2次試作炉心燃料被覆管(A, Bの2種)について、内圧クリープおよびクリープ破断試験、単軸クリープおよびクリープ破断試験を実施した。試験温度は600 $^{\circ}$ C, 650 $^{\circ}$ C, 700 $^{\circ}$ Cおよび750 $^{\circ}$ Cであり、最長試験時間は10,000hrを目標とした。試験結果については第1次計画と同様に統計的手法による検討を加えた。

## 2. 供 試 材 料

### 2.1 概 要

「常陽」用燃料被覆管の昭和44年度試作品として、国内2社(神戸製鋼所、住友金属工業)で製造されたAISI 316 オーステナイトステンレス鋼の薄肉細管(6.3 $\phi$  × 0.35 t; A材, B材の2種類)を試験に供した。

その寸法や製造方法などの主な特徴は、前報(SN 241, 71, 55)に示した昭和43年度試作品にほぼ同じである。

### 2.2 化 学 成 分

供試材の化学成分をTable 1に示す。

## 2.3 性 質

供試材の光学顕微鏡組織，結晶粒度，表面あらさおよびかたさを Table 2 に示す。また，高温引張試験結果を Fig. 1 (A材)，Fig. 2 (B材)に，高温バースト試験結果を Fig. 3 に示す。

## 3. 試験方法

試験片の形状寸法や試験機の内容は前報に示したものと同じである。なお，今回行なった管のふくれを測定する内圧クリーブ試験では，所定時間ごとに試験を中断して管の直径ふくれを測定した。

## 4. 試験条件

試験条件を Table 3 に示す。

## 5. 試験結果

### 5.1 内圧クリーブ破断試験結果

A材およびB材について5試験機関で求めた600℃，650℃，700℃および750℃の試験温度における内圧クリーブ破断試験結果を Table 4 (A材)，5 (B材)に示す。各試験温度における試験圧力と破断時間の関係は Fig. 4 (A材)，5 (B材)の如くである。

これによると，650℃と700℃において試験を Ar ガス雰囲気中で行なったものと大気中で行なったものとは，第1次試験結果と同様に，破断時間に有意な差がないようであるが，A材の試験片番号3003系統(650℃，230Kg/cm<sup>2</sup>と200Kg/cm<sup>2</sup>)のものは他に比べてやや大きな破断時間を示している。各温度，各試験機関におけるデータには差異がやや見られ，750℃におけるNRIMとPNCのデータには明らかに差が見られる。データのばらつきはB材よりA材のほうやや大きいようである。

### 5.2 内圧クリーブ試験結果

A材およびB材について4試験機関で求めた600℃，650℃，700℃および750℃における内圧クリーブ試験結果を Table 6 に，圧力と管の外径の増加より求めた最小クリーブ速度との関係を Fig. 6 (A材)，7 (B材)に示す。

650℃における Ar ガス雰囲気中と大気中とのデータを比べると、B材では雰囲気の影響はあまり見られないのに、A材では Ar ガス雰囲気中のものと大気中のものには最小クリープ速度に大きな差が見られる。この差の主たる原因は、破断時間のところで見られたと同様に、A材の試験片番号3003系統のものが他のものに比べて異なったクリープ特性を示すことにあるものと思われる。全体的に見て、内圧クリープ破断試験結果と同様に、A材はB材よりもばらつきが大きいようである。なお図中に曲線をあてはめてあるが、これは図を見やすくするために引いただけのものである。

### 5.3 単軸引張クリープ破断およびクリープ試験結果

A材およびB材について2試験機関で求めた600℃、650℃、700℃および750℃における単軸引張クリープ破断およびクリープ試験結果をTable 7 (A材)、8 (B材)に示す。また、試験応力と破断時間の関係をFig. 8に、試験応力と最小クリープ速度の関係をFig. 9に示す。

Fig. 8よりA材はB材よりも破断時間が大きいことが判るが、750℃の低応力側ではその対数破断時間の差が小さくなっている。また、650℃における2試験機関の破断時間を見ると、A材ではTOSHIBAの値はNRIMの値より小さいようであるが、B材ではその差異はあまりない。Fig. 9より最小クリープ速度は、600℃および650℃ではA材のほうがB材より小さいが、700℃ではその差が小さく低応力側で逆転しており、750℃においては高応力側でほぼ等しい値であるが、低応力側になるに従ってB材がA材より小さな値になっていることが判る。なお両図中に曲線をあてはめてあるが、これは図を見やすくするために引いただけのものである。

## 6. 試験結果の整理

得られたデータを客観的に提示するために、第十次試験結果(SN 241, 71, 55)で行なったと同様な統計的手法により、試験結果を整理した。

### 6.1 内圧クリープ破断

#### 6.1.1 圧力 — 破断時間

A材とB材のデータを一緒にして各温度における圧力と破断時間の関係について多項式による曲線のあてはめを行ない、回帰分析をして危険率5%のF検定を行なった結果、選択された回帰式の次数における回帰線と信頼区間(信頼度95%)をFig. 10に

示す。データのばらつきの一指標としての関与率を見ると、600℃の関与率は他の温度のそれよりも小さい。これは第1次試験での傾向と同じである。関与率の値そのものは第1次試験での値よりも7.5%~18.3%小さく、データのばらつきは大きい。

#### 6.1.2 圧力 — Larson-Miller パラメータ

第4次試験で行なったと同様に、長時間データを推定するために圧力と破断時間との関係を Larson-Miller パラメータ [ $LMP = T(C + \log t_R)$ ] で整理した。ここで、 $T$ は絶対温度(試験温度)、 $C$ はパラメータ定数および  $t_R$ は破断時間である。そして圧力と  $LMP$  の関係に対して統計的手法でパラメータ定数  $C$  の値を決定し、多項式による曲線のあてはめを行なった。

A材とB材を一緒にした場合の圧力と  $LMP$  との関係に対して、採用されたパラメータ定数および選択された回帰式の次数における回帰線と信頼度95%における信頼区間を Fig. 11 に示す。回帰次数は2次で、採用されたパラメータ定数の値は14.13、関与率は72.2%で第1次試験の場合(72.8%)とほぼ同じである。データプロットを見ると、A材はB材に比べてパラメータの小さいほう(低温短時間側)では破断強さが大であるが、パラメータの大きい方(高温長時間側)では破断強さはほぼ等しいことが判る。

#### 6.1.3 圧力 — 温度

A材とB材を一緒にした場合の圧力と  $LMP$  との関係に対する選択された回帰線と信頼区間より、各温度において破断時間が1,000 hr, 3,000 hr, 10,000 hrおよび15,000 hr における圧力の回帰推定値と信頼度95%における信頼区間の上下限の値を求めた。その結果を Fig. 12 に示す。ここで、実線は回帰線より求めた推定値で、破線は信頼区間の下限の曲線より求めた値である。ここで設計上重要な650℃で10,000 hr の条件に注目すると、種々の仮定(すなわち、対数破断時間はある圧力水準で正規分布し、かつ各圧力水準において等分散であるという仮定)をおけば、650℃において約125  $Kg/cm^2$  の圧力で被覆管の50%が10,000 hr までに破断し、約80  $Kg/cm^2$  の圧力で被覆管の2.5%が10,000 hr までに破断するということになる。

### 6.2 内圧クリープ

#### 6.2.1 クリープ曲線

適当な時間間隔で試験を中断し、室温無負荷状態で試験片の外径を測定した結果の一



例を Fig. 13 に示す。これは B 材， $600^{\circ}\text{C}$ ， $220\text{ Kg/cm}^2$  の場合のもので，図の左側には各時間での試験片の軸方向における外径の変化を示し，図の右側には時間対外径の関係を示してある。

軸方向の各位置における外径の測定値（各位置における半径方向 3 ケ所の平均値，3 ケ所でのばらつきはあまり大きくない）は，第 1 期クリーブに相当する短時間側においては軸方向の中央部付近がふくれており，外径対時間の関係の図上でのばらつきがやや大きくなっているが，第 2 期クリーブに相当する時間帯では中央部付近のふくれがほとんどなくなりばらつきは小さくなっている。また，第 3 期クリーブに相当する長時間側においては軸方向の各位置における外径の測定値は大きなばらつきを示している。図右における曲線は○印〔軸方向位置（9 位置）の測定値の平均値〕にあてはめたものであるが，この曲線より最小クリーブ速度を算出した。なお Table 3 の  $600^{\circ}\text{C}$  NRIM のデータのなかに※ 1 印で示すように，試験片の軸方向中央部の 1 ケ所 1 半径方向のみの外径の変位を，伸び検出器と差動変圧器の組合せによる伸長計により，連続的に測定した値より最小クリーブ速度を算出したものがあるが，それらは上に述べたように，第 2 期クリーブに相当する時間帯での軸方向での外径の変位にばらつきが少ないということから，ほぼ妥当なものであると思われる。

A 材および B 材について  $650^{\circ}\text{C}$  および  $700^{\circ}\text{C}$  におけるクリーブ曲線を Fig. 14, 15, 16, 17 に示す。ここで縦軸は外径伸びの最大値であるが，このクリーブ曲線より算出された最小クリーブ速度は，第 2 期クリーブにおける測定値のばらつきが小さいということから外径伸びの平均値で画いたクリーブ曲線より算出したものと大きな差異はないものと思われる。2 試験機関による A 材の  $650^{\circ}\text{C}$  における同一圧力のクリーブ曲線はあまり良い一致を示しているとはいえないが，これは，前にも述べたように，A 材の試験片号 3003 系統のクリーブ特性が他の試験片の場合と大きく異なっているためと思われる。

#### 6.2.1 圧力 — 最小クリーブ速度

A 材と B 材を一緒にした場合の圧力と最小クリーブ速度との関係に対する選択された回帰式の次数における回帰線と信頼区間（信頼度 95%）を Fig. 18 に示す。いずれの温度においても，A 材と B 材を一緒に回帰したためかデータのばらつきは大きい。なお， $750^{\circ}\text{C}$  ではデータの数が少なかったため回帰線のあてはめは行なわなかった。

#### 6.2.2 圧力 — 最小クリーブ速度に関する Larson-Miller パラメータ

各温度における圧力と最小クリープ速度との関係を Larson-Miller パラメータ  $[LMP = T (C - \log \dot{\epsilon}_{tmin})]$  で整理し、統計的手法で解析を行なった。ここで、 $\dot{\epsilon}_{tmin}$  は接線方向の最小クリープ速度である。その結果、A材とB材を一緒にした場合の圧力とLMPに対して採用されたパラメータ定数 ( $C = 15.88$ ) および選択された回帰式の次数における回帰線と信頼区間 (信頼度 95%) を Fig. 19 に示す。データプロットを見ると、圧力と破断時間のLMPとの関係におけると同様な傾向がうかがえる。すなわち、A材はB材に比べて、パラメータの小さいほう (低温高速度側) ではクリープ限度が大であるが、パラメータの大きいほう (高温低速度側) ではクリープ限度はほぼ等しくなる傾向を示している。

### 6.2.3 圧力 — 温度

Fig. 19 より求めた温度と接線方向の最小クリープ速度が  $10^{-3}\%/hr$ ,  $3 \times 10^{-4}\%/hr$ ,  $10^{-4}\%/hr$ ,  $3 \times 10^{-5}\%/hr$  になる圧力の回帰推定値と信頼度 95% における信頼区間の下限との関係を Fig. 20 に示す。なお図中に、後述する Mises による相当最小クリープ速度  $10^{-4}\%/hr$  と等価の  $8.66 \times 10^{-5}\%/hr$  における曲線も示してある。650°C で被覆管の 50% が  $10^{-4}\%/hr$  の接線方向における最小クリープ速度および相当最小クリープ速度になるクリープ限度はそれぞれ約  $100 \text{ Kg/cm}^2$  および  $95 \text{ Kg/cm}^2$  である。

## 6.3 単軸引張クリープ破断

### 6.3.1 応力 — 破断時間

Fig. 21 に、A材とB材を一緒にした場合の選択された回帰式の次数における回帰線と信頼区間 (信頼度 95%) を示す。低温側になるにしたがってばらつきは大きくなっている。

### 6.3.2 応力 — Larson-Miller パラメータ

応力と  $LMP = T (C + \log t_R)$  との関係に対する A材とB材を一緒にした場合の採用されたパラメータ定数 ( $C = 13.28$ ) および選択された回帰式の次数における回帰線と信頼区間 (信頼度 95%) を Fig. 22 に示す。データプロットを見ると、圧力とLMPとの関係におけると同様に、A材はB材に比べて、パラメータの小さい側では破断強さが大であるが、パラメータの大きい側では破断強さはほぼ等しいことが判る。

### 6.3.3 応力 — 温度

Fig. 22 より求めた温度と破断時間が 1,000 hr, 3,000 hr, 10,000 hr, 15,000 hr, 30,000 hr になる応力の回帰推定値と信頼区間（信頼度 95%）の下限との関係を Fig. 23 に示す。650°C で被覆管の 50% が 10,000 hr までに破断する応力は約  $10\text{Kg}/\text{mm}^2$  である。

#### 6.4 単軸引張クリープ

##### 6.4.1 応力 — 最小クリープ速度

A 材と B 材を一緒にした場合の応力と最小クリープ速度との関係に対する選択された回帰式の次数における回帰線と信頼区間（信頼度 95%）を Fig. 24 に示す。

##### 6.4.2 応力 — 最小クリープ速度に関する Larson-Miller パラメータ

各温度における応力と最小クリープ速度との関係を  $LMP = T(C - \log \dot{\epsilon}_{\min})$  で統計的に整理し、A 材と B 材を一緒にした場合の採用されたパラメータ定数 ( $C=19.12$ ) および選択された回帰式の次数における回帰線と信頼区間（信頼度 95%）を Fig. 25 に示す。データプロットを見ると、パラメータの小さいほう（低温高速度側）では A 材は B 材に比べてクリープ限度が大であるが、パラメータの大きいほう（高温低速度側）ではクリープ限度は逆に A 材に比べて B 材が大きくなっていることが判る。

##### 6.4.3 応力 — 指定全伸びに達する時間

応力と 0.5%, 1% および 2% の全伸びに達する時間との関係について、A 材の場合を Fig. 26 (600°C, 700°C) および Fig. 27 (650°C, 750°C), また B 材の場合を Fig. 28 (600°C, 700°C) および Fig. 29 (650°C, 750°C) にそれぞれ示す。図中に破断のデータも参考のために示してあるが、各曲線は“Visual fit” の手法で画かれたものである。A 材および B 材の 750°C では、他の温度の場合に比べて、低応力側（長時間側）で各指定伸びの曲線群が破断曲線と大きくかけはなれている。これは 750°C で負荷応力が低い場合は 2% の全伸びから破断に至るまでの時間が他の場合に比べて長いことを示している。

##### 6.4.4 応力 — 温度

応力と温度の関係について、応力と最小クリープ速度との関係 (Fig. 25) より求めたものを Fig. 30 に示す。これによると 650°C で被覆管の 50% が  $10^{-4}\%/hr$  以上の最小クリープ速度になるクリープ限度は約  $10.5\text{Kg}/\text{mm}^2$  である。

また応力と温度の関係について、応力と指定全伸びに達する時間との関係 (Fig. 26,

27, 28, 29) より求めたものを Fig. 31 (A材) および Fig. 32 (B材) に示す。  
650℃において10,000hr までに1%の全伸びを生ずるクリープ制限応力は、A材は約9.0Kg/mm<sup>2</sup> およびB材は約7.5Kg/mm<sup>2</sup> である。

## 6.5 内圧クリープと単軸引張クリープとの関連

### 6.5.1 クリープ破断

第4次試験においては、内圧クリープ破断データと単軸引張クリープ破断データを関連づける場合、被覆管にかかる内圧力の Hoop stress への換算は外径の式、平均径の式および内径の式のうち平均径の式 [ $\sigma_H = P (D_0/2t_K - 0.5)$ ] 用いるのがよいであろうという結論になった。ここで、 $\sigma_H$  は Hoop stress, P は試験圧力,  $D_0$  は外径,  $t_K$  は肉厚である。そこで、本試験データも平均径の式で Hoop stress を求めれば内圧クリープ破断データと単軸引張クリープ破断データとが関連つけられるものと考えて、その検証の意味で単軸引張における応力と平均径の式で計算される Hoop stress の関係を求めたのが Fig. 33 である。これは、各温度における内圧および単軸引張の同一破断時間（内圧の破断時間を基として単軸引張の破断時間は破断曲線より内挿して求めた）に対応する Hoop stress と引張応力をプロットしたものであり、45°の直線上に各プロットがのれば関連の度合いが強いということになる。図の如く高応力側ではばらつきも小さくよい関連を示しているものと思われるが、低応力側（主として750℃のもの）ではばらつきが大きく、かつ内圧のほうが単軸引張よりも弱い傾向を示している。したがって、この原因については検討することが必要であろうが、設計等において750℃が重要となる場合は、上記の傾向があることに留意しなければならない。なお、この低応力側のプロットを右側に平行移動させるような外径の式 [ $\sigma_H = P (D_0/2t_K)$ ] で低応力側のみを計算し直してみても、関連の度合いはたいして改善されなかった。

### 6.5.2 最小クリープ速度

内圧クリープ試験において得た最小クリープ速度は、外径の増加 ( $\Delta D_0/D_0$ ) すなわち  $\epsilon_t = \Delta D_0/D_0$  と時間とのクリープ曲線より求めたものである。ここで、 $\epsilon_t$  は接線方向ひずみである。したがって内圧のデータと単軸引張のデータを関連づける場合、応力（圧力）は勿論のことひずみ速度が問題となる。そこで、圧力を相当応力 ( $\sigma^*$ )、内圧クリープ試験において得たひずみ速度（最小クリープ速度）を相当ひずみ速度 ( $\dot{\epsilon}^*$ 、相当最小クリープ速度) に換算し直して内圧と単軸引張の関連を調べることにする。

いま、Mises および Tresca の相当応力は

$$\sigma_M^* = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_t - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_t)^2]^{1/2} \dots\dots\dots \text{Mises}$$

$$\sigma_T^* = \sigma_t - \sigma_r \dots\dots\dots \text{Tresca}$$

で表わされる。ここで、 $\sigma_t$  は接線方向応力、 $\sigma_r$  は半径方向応力および  $\sigma_z$  は軸方向応力である。

供試材は薄肉細管であり、ここでは定常クリープのみについて取り扱っているのであるから、 $\sigma_t$  の半径方向の応力勾配は考慮せずともよいと考えれば、 $\sigma_t = Pr_m / t_K$  である。ここで  $r_m$  は平均半径である。また  $\sigma_z = \sigma_t / 2 = Pr_m / 2t_K$  である。そして、 $\sigma_r$  は、このような薄肉管の場合は、 $\sigma_t$  および  $\sigma_z$  と比較して、無視し得るものと考えて 0 と仮定する。

以上の条件を用いて相当応力を算出すると、

$$\begin{aligned} \sigma_M^* &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ \left( \frac{Pr_m}{t_K} - \frac{Pr_m}{2t_K} \right)^2 + \left( \frac{Pr_m}{2t_K} \right)^2 + \left( -\frac{Pr_m}{t_K} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{Pr_m}{t_K} \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

$$\sigma_T^* = \frac{Pr_m}{t_K} \dots\dots\dots (2)$$

となる。

つぎに、Mises の相当ひずみ速度は、

$$\dot{\epsilon}_M^* = \frac{\sqrt{2}}{3} [(\dot{\epsilon}_t - \dot{\epsilon}_z)^2 + (\dot{\epsilon}_z - \dot{\epsilon}_r)^2 + (\dot{\epsilon}_r - \dot{\epsilon}_t)^2]^{1/2}$$

である。なお、 $\dot{\epsilon}_t$ 、 $\dot{\epsilon}_z$  および  $\dot{\epsilon}_r$  はそれぞれ接線方向、軸方向および半径方向のひずみ速度である。

ここで、Mises 形の相当応力と Mises 形の流れの法則より軸方向ひずみ速度は、

$$\dot{\epsilon}_z = \frac{\dot{\epsilon}_M^*}{\sigma_M^*} \left[ \sigma_z - \frac{1}{2} (\sigma_t + \sigma_r) \right]$$

であるが、 $\sigma_z = \frac{Pr_m}{2t_K}$ 、 $\sigma_t = \frac{Pr_m}{t_K}$  および  $\sigma_r = 0$  の条件より

$$\dot{\epsilon}_z = 0$$

となる。また、体積不変として扱えば、

$$\dot{\epsilon}_t + \dot{\epsilon}_r + \dot{\epsilon}_z = 0$$

であるから、

$$\dot{\epsilon}_t = -\dot{\epsilon}_r$$

となる。

したがって、

$$\begin{aligned}\dot{\epsilon}_M^* &= \frac{\sqrt{2}}{3} [(\dot{\epsilon}_t)^2 + (\dot{\epsilon}_t)^2 + (2\dot{\epsilon}_t)^2]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \dot{\epsilon}_t \quad \dots\dots\dots (3)\end{aligned}$$

となる。

以上の(1)、(2)および(3)式を用いて、内圧クリーブ試験における圧力と接線方向の最小クリーブ速度をそれぞれ相当応力と相当ひずみ速度(相当最小クリーブ速度)に換算し、クリーブ破断のところで行なったと同様に、単軸引張クリーブ試験における引張応力と相当応力との関係を示したのが Fig. 34 である。これは、各温度において内圧における Mises 形の相当最小クリーブ速度と単軸引張における最小クリーブ速度の同一値に対応する Mises 形および Tresca 形の相当応力と引張応力をプロットしたものである。これを見ると、大きなばらつきはあるが、全体的な傾向として高応力側では比較的よい関連を示しているが低応力側では関連の度合が悪く、内圧のほうは単軸引張よりも弱い傾向を示していることが判る。したがって、この原因については検討することが必要であろうが、設計等においては上記の傾向に留意しなければならない。高応力側(700℃における長時間側と750℃のデータを除いたもの)ではばらつきがやや大きい、黒ぬりのプロット。すなわち Tresca 形の相当応力と Mises 形の相当最小クリーブ速度を用いればよりよい関連を示すものと思われる。

なお、前に示した Fig. 20 には Mises 形の相当最小クリーブ速度  $10^{-4}\%$ /hr における圧力と温度の関係を示してある。また、Tresca 形の相当応力は、種々の仮定を設けたので、クリーブ破断における平均径の式より計算される Hoop stress と同一となってしまっている。

## 6.6 得られた応力の推定値

以上に示した各試験結果の整理・検討によって得られた10,000 hrと15,000 hrにおける破断強さ、最小クリーブ速度 $10^{-4}\%/hr$ におけるクリーブ限度および10,000 hrにおいて1%の全ひずみを与えるクリーブ制限応力の値をTable 9に示す。ここで、統計処理を行なったものは推定値(Estimate)と信頼度95%における下限値(Lower)を示してあり、統計処理を行なわなかったものは平均値(Mean)を示すにとどめた。内圧クリーブ破断の値は、圧力を平均径の式でHoop stressに換算したもので、内圧クリーブにおける値はMises形の相当最小クリーブ速度 $10^{-4}\%/hr$ になるTresca形の相当応力である。なお、内圧データと単軸引張データとを関連づけた場合、700℃以上においては関連の度合が悪かったので、( )内の値は参考値である。

## 6.7 得られたデータと第1次試験のデータとの比較

A材とB材を一緒にした場合の圧力および応力と温度との関係について、得られたデータと第1次試験のデータとの比較をそれぞれFig. 35, 36, 37に示す。Fig. 35は内圧クリーブ破断における1,000 hr, 3,000 hrおよび10,000 hrにおける圧力と温度との関係であって、第1次試験のほうが本試験よりも破断圧力(推定値)が大きく、650℃においてその差は約20~25 Kg/cm<sup>2</sup>である。Fig. 36は単軸引張クリーブ破断における1,000 hr, 3,000 hr, 10,000 hrおよび30,000 hrにおける応力と温度との関係であって、内圧クリーブ破断の場合と同様に、第4次試験のほうが本試験よりも破断応力(推定値)が大きく、650℃においてその差は約2.2~2.4 Kg/mm<sup>2</sup>である。Fig. 37は単軸引張における $10^{-3}\%/hr$ および $10^{-4}\%/hr$ における応力(クリーブ限度)と温度との関係であって、同様に第4次試験のほうが本試験よりもクリーブ限度が大きく、650℃においてその差は約3.0~3.5 Kg/mm<sup>2</sup>である。なお、A材とB材を一緒にした場合のデータのばらつきは、Table 9と第4次試験におけるTable 13を見ると、内圧クリーブ破断においては本試験は第4次試験に比べて大きい、単軸引張クリーブ破断では大きな差がないことが判った。


## 6.8 内圧クリーブ破断後の試験片

内圧クリーブ破断後の試験片の外観の一例をPhoto. 1に示す。これは1試験機関におけるものであって、圧力媒体はArガス、雰囲気は空気の場合である。この写真より、破

断部の破壊の様相は低温側では“Open door”型で、高温側では“Seam-like”あるいは“Pinhole”型であることが判る。他の1試験機関で観察した破断部の様相の一例をPhoto. 2に示す。これらは650℃におけるもので、“Seam-like”型の破壊を示しており、破壊は結晶粒界を進行している。

#### 6.9 破断後の試験片の寸法

Fig. 38に内圧クリーブ破断試験片の外径の伸び( $\Delta D_0/D_0$ , %, 軸方向の各位置における数測定値の平均値)の平均値と破断時間の関係を示す。この図から、A材に比べてB材の破断後の外径の伸びがやや小さいことが判る。750℃の約3,000 hrにおけるA材の伸びは18.6%と特に大きくなっている。

単軸引張クリーブ試験片の破断後の伸びと破断時間との関係をFig. 39に示す。印を除くプロット(1試験機関のもの)を見ると、各温度において短時間側ではA材はB材より破断伸びは大きい、長時間側になるとA材とB材の破断伸びが接近してくる。750℃の長時間側の伸びは他温度の長時間側の伸びに比べてその値が大きい。750℃のB材では、長時間になると急に伸びが増大しているが、これは再結晶が起ったことを示すものと思われる。また750℃のA材では、伸びの値が大きくかつ破断時間にあまり依存していないようであるが、これは析出と再結晶とのバランスに関係しているのではないと思われる。

#### 6.10 破断後の試験片のかたさ

内圧クリーブ破断試験片の破断後のかたさ(Hv, 500 gr, 軸方向の各位置における数測定値の平均値)の平均値とLarson-Millerパラメータ(定数の値を20とした)との関係をFig. 40に示す。なお、これは各温度における長時間側の横断面の値のみ示したものである。ばらつきが大きく明瞭ではないが、B材よりA材のほうがかたさが大きいようである。

同様に、単軸引張クリーブ破断後の試験片のかたさ(Hv, 500 gr, 数測定値の平均値)とLarson-Millerパラメータ(定数の値を20とした)との関係をFig. 41に示す。A材のかたさは、パラメータ値の変化に対してあまり影響を受けないが、B材のかたさはパラメータ値が大きくなるに従って小さくなる傾向を示している。このことは、B材は高温時間側で再結晶が始まっていることを示しているものと思われる。



### 6.1.1 破断後の組織

内圧における650℃および700℃の長時間破断後の光学顕微鏡組織（破断部近傍）を試験前の組織と一緒に Photo.3 に示す。試験前の写真より、加工の影響はB材よりA材のほうが強いことが判る。また結晶粒度はB材よりA材のほうが細かい。700℃では結晶粒内、粒界に析出物が多く析出しているが、この写真からは、A材とB材とでは結晶粒の大きさを除いて組織上、大きな差異は認められない。

Photo.4 に内圧クリープ破断後の750℃における光学顕微鏡組織（破断部近傍）を示す。A材およびB材ともに長時間側になると析出物が増加するが、A材の長時間（946.0 hr）のものでは結晶粒内および粒界に多数の $\sigma$ 相が見られる。それに反して、B材の長時間（1845.5 hr）のものでは $\sigma$ 相がA材に比べて多くない。このことは単軸引張クリープ破断後の試験片でも同様に見られた。この750℃における破断後の組織の相違は、750℃の内圧と単軸引張の破断曲線において、短時間側でA材がB材より対数破断時間が大きかったものが、長時間側では両材の対数破断時間が接近する傾向にあったことに関連しているものと思われる。

## 7. ま と め

高速実験炉用燃料被覆管の第2次試作管についての内圧クリープおよびクリープ破断試験と単軸引張クリープおよびクリープ破断試験を、試験温度600℃、650℃、700℃および750℃において、非照射の条件下で行なった結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 得られた試験結果を統計的に解析した結果、基礎的資料としての本文 Table 9 に示すような応力値が求められた。
- (2) 国内2製造会社で試作された2種類の被覆管（A材、B材）のクリープおよびクリープ破断強さには差異が認められた。すなわち、内圧と単軸引張の破断強さおよび内圧のクリープ強さ（クリープ限度）におけるA材とB材の差異は、試験条件が低温・短時間側では大きいですが、高温・長時間側になると小さくなる傾向を示した。また、単軸引張のクリープ限度におけるA材とB材の差異は、低温・短時間側では大きいですが、高温・長時間側になるにつれて小さくなり、むしろA材とB材の強さの差異の関係が逆転するような傾向さえ見られた。なお、各試験におけるデータのばらつきにもA材とB材との差異がやや認められた。
- (3) 第2次試作管のクリープおよびクリープ破断強さはA材、B材ともにそれぞれ第1次試作管のA材、B材よりも弱かった。

- (4) 内圧クリープおよびクリープ破断試験において、各試験機関で得られたデータには差異がやや見られたが、その差異は各試験機関への試験片の割り振りに一部起因しているものと推察された。
- (5) Ar ガス雰囲気中と大気中で行なわれた内圧クリープ破断試験(650℃, 700℃)において破断時間は雰囲気にあまり影響されないようであったが、内圧クリープ試験(650℃)では、Ar ガス雰囲気中のものは大気中のものよりも最小クリープ速度が小さい傾向にあった。しかし、この傾向の主たる原因は、特定の試験片番号の試験片の測定値が小さかったことから見て、当該試験機関への試験片の割り振りにあったものと推察された。
- (6) 内圧試験と単軸引張試験との関連を調べるために、クリープ破断試験における引張応力と平均径の式で計算される Hoop stress との関係を求めたところ、低温高応力側ではよい関連を示したが、高温低応力側ではあまりよい関連を示さなかった。

また、クリープ試験における単軸引張の最小クリープ速度と内圧の相当最小クリープ速度の同一値にそれぞれ対応する引張応力と相当応力との関係を調べたところ、相当最小クリープ速度( $\dot{\epsilon}^*$ )を $(2/\sqrt{3})\dot{\epsilon}_t$ および相当応力( $\sigma^*$ )を $Pr_m/t_K$ で計算した場合は低温・高応力側でよく関連することが判った。しかし、クリープ破断と同様に、高温・低応力側では関連の度合が悪くなる傾向にあった。なお、ここで $\dot{\epsilon}_t$ は接線方向の最小クリープ速度、Pは圧力、 $r_m$ は平均半径および $t_K$ は厚さである。

## 8. 付 図

本文に掲げた以外の図を付図として以下に示す。

Fig. 42 内圧クリープ破断における圧力と破断時間の関係についての回帰線と信頼区間(A材)。

Fig. 43 内圧クリープ破断における圧力と破断時間の関係についての回帰線と信頼区間(B材)。

Fig. 44 内圧クリープ破断における圧力と破断時間に関する Larson-Miller パラメータの関係についての回帰線と信頼区間(A材)。

Fig. 45 内圧クリープ破断における圧力と破断時間に関する Larson-Miller パラメータの関係についての回帰線と信頼区間(B材)。

Fig. 46 内圧クリープにおける圧力と最小クリープ速度に関する Larson-Miller パラメータの関係についての回帰線と信頼区間(A材)。

- Fig. 47 内圧クリープにおける圧力と最小クリープ速度に関する Larson-Miller パラメータの関係についての回帰線と信頼区間 (B材)。
- Fig. 48 単軸引張クリープ破断における応力と破断時間に関する回帰線と信頼区間 (A材)。
- Fig. 49 単軸引張クリープ破断における応力と破断時間に関する回帰線と信頼区間 (B材)。
- Fig. 50 単軸引張クリープ破断における応力と破断時間に関する Larson-Miller パラメータの関係についての回帰線と信頼区間 (A材)。
- Fig. 51 単軸引張クリープ破断における応力と破断時間に関する Larson-Miller パラメータの関係についての回帰線と信頼区間 (B材)。
- Fig. 52 単軸引張クリープにおける応力と最小クリープ速度に関する回帰線 (A材)。
- Fig. 53 単軸引張クリープにおける応力と最小クリープ速度に関する回帰線 (B材)。
- Fig. 54 単軸引張クリープにおける応力と最小クリープ速度に関する Larson-Miller パラメータの関係についての回帰線と信頼区間 (A材)。
- Fig. 55 単軸引張クリープにおける応力と最小クリープ速度に関する Larson-Miller パラメータの関係についての回帰線と信頼区間 (B材)。

Table 1. Chemical composition of tubes

		Composition, wt. %											
		Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	B	N
Tube A	Ladle	Bal.	0.072	0.58	1.67	0.014	0.013	12.47	17.13	25.4	0.04	—	—
	Check	Bal.	0.066	0.62	1.65	0.017	0.013	12.43	16.70	2.48	0.043	0.001	0.034
0.067			0.62	1.69	0.020	0.015	12.40	16.72	2.45	0.043	0.001	0.035	
Tube B	Ladle	Bal.	0.06	0.58	1.52	0.003	0.017	13.14	16.60	25.2	0.02	0.0005	0.0262
	Check	Bal.	0.06	0.57	1.57	0.003	0.012	13.15	16.95	23.7	0.02	0.0002	0.0258
0.06			0.57	1.55	0.003	0.013	13.14	16.93	24.0	0.02	0.0002	0.0258	

Table 2. Microstructure, grain size, surface roughness and hardness of tubes.

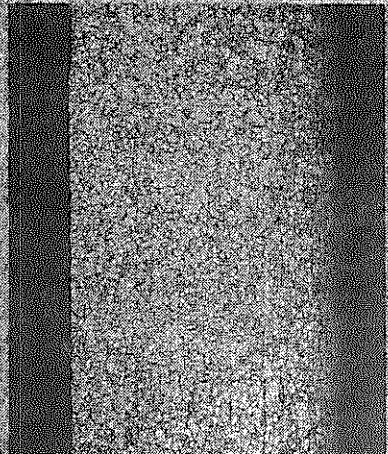
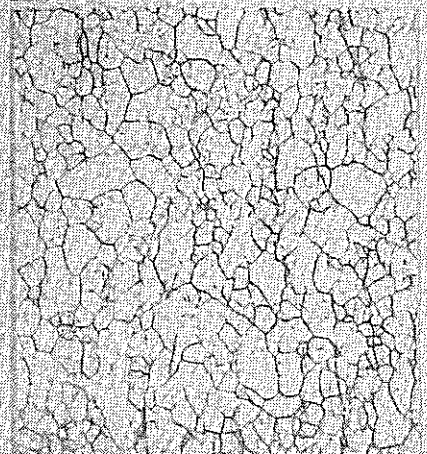
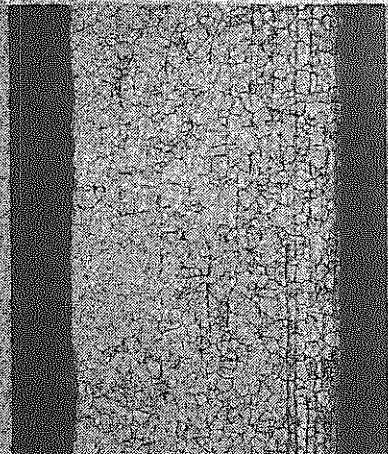
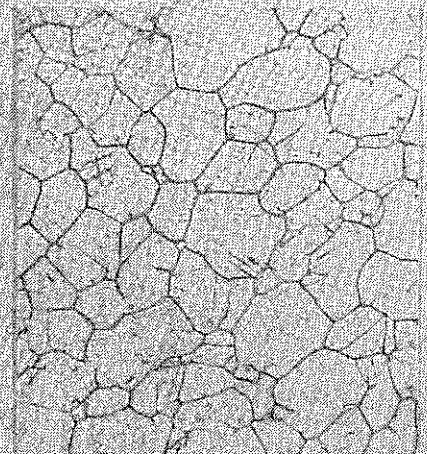
	Photo micrograph		Grain Size (ASTM No.)	Surface roughness	Hardness
Tube A	 × 100	 Longitudinal × 400	9.0	Inside surface 0.6 Outside surface 2.0	Longitudinal 265 Transverse 269
Tube B	 × 100	 Longitudinal × 400	7.0	Inside surface 0.8 Outside surface 0.8	Longitudinal 245 Transverse 245

Table 3 Test condition

Test	Temperature (°C)	Pressure or Stress Level (Rupture-Time or Testing Time)
Internal Pressure. Creep-Rupture and Creep	600	Creep-Rupture ; 4 Levels
	650	(100, 300, 1000, 3000hr)
	700	Creep ; 4~5 Levels
	750	( max. 5000 hr )
Uniaxial Tension. Creep-Rupture and Creep	600	Creep-Rupture ; 4 Levels
	650	(100, 300, 1000, 3000~5000hr )
	700	Creep ; 6 Levels
	750	( max. 10,000 hr )

Table 4 Results of creep-rupture tests under internal pressure for Tube A.

Institute		NRIM		KŌBE		SUMITOMO		HITACHI		PNC	
Temp °C	Pressure Kg/cm <sup>2</sup>	No. of speci.	Time to rupture hr	No. of speci.	Time to rupture hr	No. of speci.	Time to rupture hr	No. of speci.	Time to rupture hr	No. of speci.	Time to rupture hr
600	380	3055-8	109.7	—	—	—	—	—	—	3022-6	100.2
	350	3055-3	353.7	—	—	—	—	—	—	3022-5	116.3
	320	3026-3	1576.1	—	—	—	—	—	—	3021-6	2849.4
	300	3060-3	3554.1	—	—	—	—	—	—	3021-2	1454.2
	270	3055-2	4621.9	—	—	—	—	—	—	—	—
650	300	—	—	3020-8	1120	3010-5	2210	3058-9	525	3021-7	288.5
	270	3020-7 3060-8	160.1 220.0	3042-2	3120	3010-2	376.9	3058-6	1525	3040-7	254.9
	230	3036-5	991.0	3049-2	1556.3	3003-6	2825.3	3058-3	839.5	3022-4	817.3
	200	3026-6	1959.5	3049-3	2211.9	3003-2	46420	3058-4 3058-5	2260.7 2323.2	3021-3	1761.5
	170	3026-2	3207.1	3016-7	4473.2	—	—	—	—	—	—
700	200	3036-6	2580	3016-4	253.4	—	—	—	—	3036-3	65.1
	170	3055-4	3690	3049-4	522.3	—	—	—	—	3026-5	466.5
	155	—	—	3049-9	743.4	—	—	—	—	—	—
	140	3036-9	1096.3	—	—	—	—	—	—	3040-4	2347.2
	125	—	—	3016-8	2917.1	—	—	—	—	—	—
	100	—	—	3049-5	4739.2	—	—	—	—	—	—
	95	3026-8	2377.9	—	—	—	—	—	—	—	—
750	120	3060-9	133.4	—	—	—	—	—	—	3022-7	128.2
	95	3055-6	181.2	—	—	—	—	—	—	3022-2	322.3
	70	3020-6	404.0	—	—	—	—	—	—	—	—
	50	3055-9	946.0	—	—	—	—	—	—	3040-5	2347.2

The second program

Table 5 Results of creep-rupture tests under internal pressure for Tube B.

Institute		NRIM		KŌBE		SUMITOMO		HITACHI		PNC	
Temp. °C	Pressure Kg/cm <sup>2</sup>	No. of speci.	Time to rupture hr	No. of speci.	Time to rupture hr	No. of speci.	Time to rupture hr	No. of speci.	Time to rupture hr	No. of speci.	Time to rupture hr
600	350	—	—	—	—	—	—	—	—	3615-6	97.5
	320	3614-5	283.5	—	—	—	—	—	—	3638-5	177.3
	300	3645-3 3624-6	234.0 245.5	—	—	—	—	—	—	3630-9	316.5
	270	3624-9	887.3	—	—	—	—	—	—	3626-4	612.0
	230	3614-3	2122.2	—	—	—	—	—	—	3624-3	3157.2
650	270	—	—	3654-2	116.5	3615-7	107.9	3607-7	70.0	3624-4	88.7
	230	3624-2	225.8	3654-8	351.0	3654-9	401.7	3607-2	288.0	3645-9	384.4
	200	3624-7	653.7	3630-4	989.5	3615-2	1111.8	3607-4 3607-3	768.5 973.3	3638-9	745.2
	170	3625-2	1618.7	3620-3	2028.2	3626-6	2092.8	3607-5	2187.9	3625-6	2201.4
	140	3645-2	4303.7	—	—	—	—	—	—	—	—
700	200	3630-7	93.8	3654-5	95.9	3626-3	83.4	—	—	3654-7	122.2
	170	3625-4	277.0	3636-8	236.2	3630-3	303.0	—	—	3645-7	390.3
	140	3630-6	568.0	—	—	3626-7	550.0	—	—	3638-6	650.5
	135	—	—	3636-2	761.3	—	—	—	—	—	—
	100	—	—	3620-6	2562.0	—	—	—	—	—	—
	95	3625-9	2165.3	—	—	3615-5	2210.0	—	—	3626-2	1886.0
750	120	3645-5	131.5	—	—	—	—	—	—	3638-7	204.3
	95	3614-8	330.6	—	—	—	—	—	—	3645-6	495.4
	70	3614-4	760.0	—	—	—	—	—	—	3636-7	815.0
	50	3624-8	1845.5	—	—	—	—	—	—	3614-7	2985.5

The second program



Table 6 Results of creep tests under internal pressure for Tubes A and B.

Temp. °C	Institute	Pressure Kg/cm <sup>2</sup>	Tube A		Tube B	
			No. of specimen	Minimum creep rate %/hr ※2	No. of specimen	Minimum creep rate %/hr ※2
600	NRIM	330	3055-5 ※1	$4.3 \times 10^{-3}$	—	—
		300	3060-2	$9.3 \times 10^{-4}$	3645-4 ※1	$3.5 \times 10^{-3}$
		260	3026-4 ※1	$1.6 \times 10^{-4}$	3624-5 ※1	$4.1 \times 10^{-4}$
			3026-7	$2.2 \times 10^{-4}$	—	—
		220	3060-7	$7.5 \times 10^{-5}$	3614-9	$3.6 \times 10^{-4}$
		180	—	—	3614-6	$6.0 \times 10^{-5}$
650	KŌBE	220	3020-9	$4.2 \times 10^{-3}$	3620-4	$6.7 \times 10^{-3}$
		200	3049-7	$1.2 \times 10^{-3}$	3620-9	$2.1 \times 10^{-3}$
		175	3042-3	$8.4 \times 10^{-4}$	—	—
		135	3042-4	$4.4 \times 10^{-4}$	3620-7	$4.2 \times 10^{-4}$
		115	3042-5	$2.5 \times 10^{-4}$	3620-5	$1.8 \times 10^{-4}$
	SUMI-TOMO	250	3003-9	$1.8 \times 10^{-3}$	3615-8	$1.8 \times 10^{-2}$
		230	3003-7	$1.0 \times 10^{-3}$	—	—
		200	3003-4	$3.1 \times 10^{-4}$	3615-4	$1.4_5 \times 10^{-3}$
		130	3010-4	$2.3 \times 10^{-4}$	3626-8	$1.8 \times 10^{-4}$
700	KŌBE	155	3016-9	$5.1 \times 10^{-3}$	3654-4	$9.4 \times 10^{-3}$
		140	3016-3	$1.7 \times 10^{-3}$	3620-8	$3.8 \times 10^{-3}$
		80	3016-6	$3.0 \times 10^{-4}$	3636-4	$7.4 \times 10^{-4}$
		60	3020-4	$5.2 \times 10^{-4}$	—	—
		45	3029-5	$1.5 \times 10^{-4}$	3636-9	$1.2 \times 10^{-4}$
750	PNC	95	3042-6	$7.7 \times 10^{-3}$	3658-5	$1.5 \times 10^{-2}$
		70	3036-2	$1.4 \times 10^{-3}$	3625-3	$2.3 \times 10^{-3}$
		50	3036-7	under way	3658-4	under way

※1; The values of strain were measured by extensometer continuously.

※2;  $\dot{\epsilon}_{t_{min}}$  was calculated from the relations of increase of outside diameter vs. time.

The second program

Table 7 Results of creep and rupture tests under uniaxial tension for Tube A.

Temp. °C	Stress Kg/mm <sup>2</sup>	No. of specimen	Instan- taneous strain %	Time for total strain, hr			Minimum creep rate %/hr	Time to rupture hr	Elong- ation %
				0.5 %	1.0 %	2.0 %			
600	320	3034-7	0.34 <sub>2</sub>	1.5	138	368	3.9 <sub>2</sub> × 10 <sup>-2</sup>	1644	27.0
	270	3034-12	0.26 <sub>1</sub>	7.0	432	129	1.1 <sub>5</sub> × 10 <sup>-2</sup>	833.5	26.1
	240	3008-3	0.21 <sub>4</sub>	325	217	1063	1.0 <sub>6</sub> × 10 <sup>-3</sup>	2851.8	11.3
	210	3017-9	0.17 <sub>0</sub>	115	4047	9700	8.2 <sub>7</sub> × 10 <sup>-5</sup>	under way	
	180	3034-10	0.14 <sub>4</sub>	235	6983	—	6.1 <sub>2</sub> × 10 <sup>-5</sup>	discontinued [7900]	—
	150	3034-3	0.11 <sub>9</sub>	3470	—	—	2.4 <sub>2</sub> × 10 <sup>-5</sup>	discontinued [6200]	—
650	240	3034-15	0.23 <sub>8</sub>	3.0	85	193	7.5 <sub>9</sub> × 10 <sup>-2</sup>	97.8	36.4
	230	3017-5*	—	—	—	—	—	1133	8.4
	200	3017-3*	—	—	—	—	—	2897	6.2
	200	3017-10	0.18 <sub>5</sub>	220	121	264	5.0 <sub>3</sub> × 10 <sup>-3</sup>	6558	13.4
	170	3017-4*	—	—	—	—	—	1949.1	10.4
	170	3008-11	0.15 <sub>6</sub>	187	770	1343	6.4 <sub>0</sub> × 10 <sup>-4</sup>	2337.9	12.4
	150	3017-6*	—	—	—	—	—	2697.1	3.0
	150	3008-8	0.12 <sub>9</sub>	724	2352	3510	2.5 <sub>1</sub> × 10 <sup>-4</sup>	4890.8	8.3
	120	3034-6	0.10 <sub>3</sub>	1331	3454	4686	1.5 <sub>2</sub> × 10 <sup>-4</sup>	7666.4	11.8
	90	3008-15	0.07 <sub>2</sub>	5993	—	—	4.2 <sub>0</sub> × 10 <sup>-5</sup>	discontinued [6700]	—
700	150	3034-13	0.13 <sub>3</sub>	132	390	766	1.7 <sub>7</sub> × 10 <sup>-2</sup>	226.4	25.7
	120	3034-5	0.11 <sub>6</sub>	765	211	377	3.5 <sub>1</sub> × 10 <sup>-3</sup>	960.9	23.9
	100	3008-10	0.09 <sub>4</sub>	384	858	1257	7.8 <sub>5</sub> × 10 <sup>-4</sup>	2504.1	19.6
	80	3008-14	0.07 <sub>4</sub>	900	1633	2279	3.7 <sub>1</sub> × 10 <sup>-4</sup>	4280.4	13.2
	60	3008-4	0.05 <sub>1</sub>	2005	3094	4294	1.6 <sub>1</sub> × 10 <sup>-4</sup>	under way	
	40	3034-11	0.03 <sub>3</sub>	3135	4605	6389	9.2 <sub>5</sub> × 10 <sup>-5</sup>	discontinued [6600]	—
750	110	3008-9	0.12 <sub>3</sub>	135	320	580	2.3 <sub>5</sub> × 10 <sup>-2</sup>	166.0	26.3
	100	3008-16	0.11 <sub>4</sub>	185	450	780	1.4 <sub>8</sub> × 10 <sup>-2</sup>	234.2	18.8
	90	3008-13	0.08 <sub>5</sub>	385	795	137	1.0 <sub>9</sub> × 10 <sup>-2</sup>	3985	24.4
	60	3034-8	0.07 <sub>7</sub>	810	161	272	3.9 <sub>5</sub> × 10 <sup>-3</sup>	1090.5	29.8
	40	3034-4	0.03 <sub>0</sub>	413	663	927	9.5 <sub>2</sub> × 10 <sup>-4</sup>	5834.6	26.1
	20	3034-14	0.01 <sub>7</sub>	1486	2215	3373	1.9 <sub>3</sub> × 10 <sup>-4</sup>	under way	

\* ; TOSHIBA  
 Without\* ; NRIM  
 The second program

Table 8 Results of creep and rupture tests under uniaxial tension for Tube B.

Temp. °C	Stress Kg/mm <sup>2</sup>	No. of specimen	Instan- taneous strain %	Time for total strain, hr			Minimum creep rate %/hr	Time to rupture hr	Elon- gation %
				0.5%	1.0%	2.0%			
600	270	3650-15	0.23 <sub>8</sub>	95	325	630	$1.9_2 \times 10^{-2}$	135.1	11.4
	240	3641-3	0.20 <sub>4</sub>	200	725	188	$8.7_7 \times 10^{-3}$	406.8	7.3
	210	3641-14	0.18 <sub>7</sub>	428	219	690	$1.9_1 \times 10^{-3}$	1282.0	5.7
	180	3647-7	0.14 <sub>8</sub>	152	1111	2856	$4.3_2 \times 10^{-4}$	3959.0	4.1
	150	3647-16	0.11 <sub>9</sub>	1375	8240	—	$6.2_5 \times 10^{-5}$	discontinued [8400]	—
	120	3641-5	0.08 <sub>4</sub>	8042	—	—	$2.5_7 \times 10^{-5}$	discontinued [8400]	—
650	200	3650-3*	—	—	—	—	—	149.1	16.5
	200	3641-8	0.17 <sub>9</sub>	93	355	850	$1.7_5 \times 10^{-2}$	199.0	12.3
	170	3650-4*	—	—	—	—	—	471.5	12.1
	170	3641-13	0.15 <sub>5</sub>	242	128	299	$4.8_5 \times 10^{-3}$	537.3	7.9
	150	3650-5*	—	—	—	—	—	1100.2	7.9
	150	3647-9	0.11 <sub>9</sub>	97.0	366	765	$1.7_3 \times 10^{-3}$	1297.7	7.5
	120	3650-6*	—	—	—	—	—	3430.9	4.8
	120	3641-12	0.08 <sub>4</sub>	816	1888	2585	$3.1_8 \times 10^{-4}$	3050.1	4.9
	90	3641-7	0.05 <sub>7</sub>	3479	5296	6467	$7.9_5 \times 10^{-5}$	7262.1	4.3
	70	3647-12	0.05 <sub>2</sub>	—	—	—	$2.6_3 \times 10^{-5}$	discontinued [7200]	—
700	150	3641-6	0.15 <sub>3</sub>	135	405	770	$1.9_9 \times 10^{-2}$	148.0	9.6
	120	3647-5	0.12 <sub>2</sub>	67.5	182	304	$4.5_0 \times 10^{-3}$	518.4	8.8
	100	3647-3	0.08 <sub>2</sub>	250	528	819	$1.2_8 \times 10^{-3}$	1173.7	6.3
	80	3641-4	0.06 <sub>8</sub>	620	1042	1428	$5.3_2 \times 10^{-4}$	1922.8	9.3
	60	3647-14	0.04 <sub>9</sub>	2155	3185	3990	$1.6_7 \times 10^{-4}$	5111.7	9.5
	40	3650-14	0.03 <sub>7</sub>	4360	5584	6717	$6.0_0 \times 10^{-5}$	under way	—
750	110	3641-9	—	—	—	—	—	95.2	7.7
	100	3647-13	0.10 <sub>2</sub>	223	510	85.2	$1.5_0 \times 10^{-2}$	161.5	10.0
	90	3647-10	0.08 <sub>3</sub>	39.8	82.8	135	$8.6_7 \times 10^{-3}$	222.7	6.5
	80	3650-9	0.08 <sub>9</sub>	53.5	115	188	$6.0_0 \times 10^{-3}$	369.7	9.8
	60	3641-15	0.05 <sub>9</sub>	190	330	497	$1.7_8 \times 10^{-3}$	751.3	6.8
	40	3647-11	0.02 <sub>9</sub>	1027	1559	2044	$3.4_0 \times 10^{-4}$	5184.2	2.7.9
	20	3647-6	0.01 <sub>9</sub>	3900	5245	6797	$6.7_5 \times 10^{-5}$	under way	—

\* ; TOSHIBA

Without\* ; NRIM

The second program

Table 9 Estimated values of stress obtained by each test.

(Kg/mm<sup>2</sup>)

Temperature	Rupture tests								Creep tests				
	Internal pressure ※1				Uniaxial tension ※2				Internal pressure ※3		Uniaxial tension ※4		
	10,000 hr		15,000 hr		10,000 hr		15,000 hr		Equivalent minimum creep rate of 10 <sup>-4</sup> %/hr		Minimum creep rate of 10 <sup>-4</sup> %/hr		1% total strain in 10,000hr
	Estimate	Lower	Estimate	Lower	Estimate	Lower	Estimate	Lower	Estimate	Lower	Estimate	Lower	Mean
600°C	17.3	13.2	16.0	12.0	15.8	12.4	14.5	11.5	15.6	11.1	16.5	13.4	14.2
650°C	10.7	7.0	9.6	5.7	9.9	7.3	9.0	6.6	8.2	4.5	10.3	7.4	7.2
700°C	4.5	—	3.5	—	5.6	3.3	4.9	2.7	(2.6)	—	5.7	2.7	2.8
750°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.8	0.5	—

- ※1 The hoop stresses were obtained from the relations of temperature versus pressure for Tubes A and B (Fig. 12).
- ※2 The tensile stresses were obtained from the relations of temperature versus stress for Tubes A and B (Fig. 23).
- ※3 The equivalent stresses were obtained from the relations of temperature versus pressure for Tubes A and B (Fig. 20).
- ※4 The tensile stresses were obtained from the relations of temperature versus stress estimated from the master minimum creep rate data for Tubes A and B (Fig. 30), and estimated from the total strain data for Tube B (Fig. 32), respectively.

The hoop stress obtained by the mean diameter formula and the equivalent stress defined by Tresca was calculated taking the dimension of the tubes as 6.30 mm in outside diameter and 0.35 mm in wall thickness. The equivalent minimum creep rate defined by Mises was calculated from tangential creep rate obtained from the increase of outside diameter of the tubes.

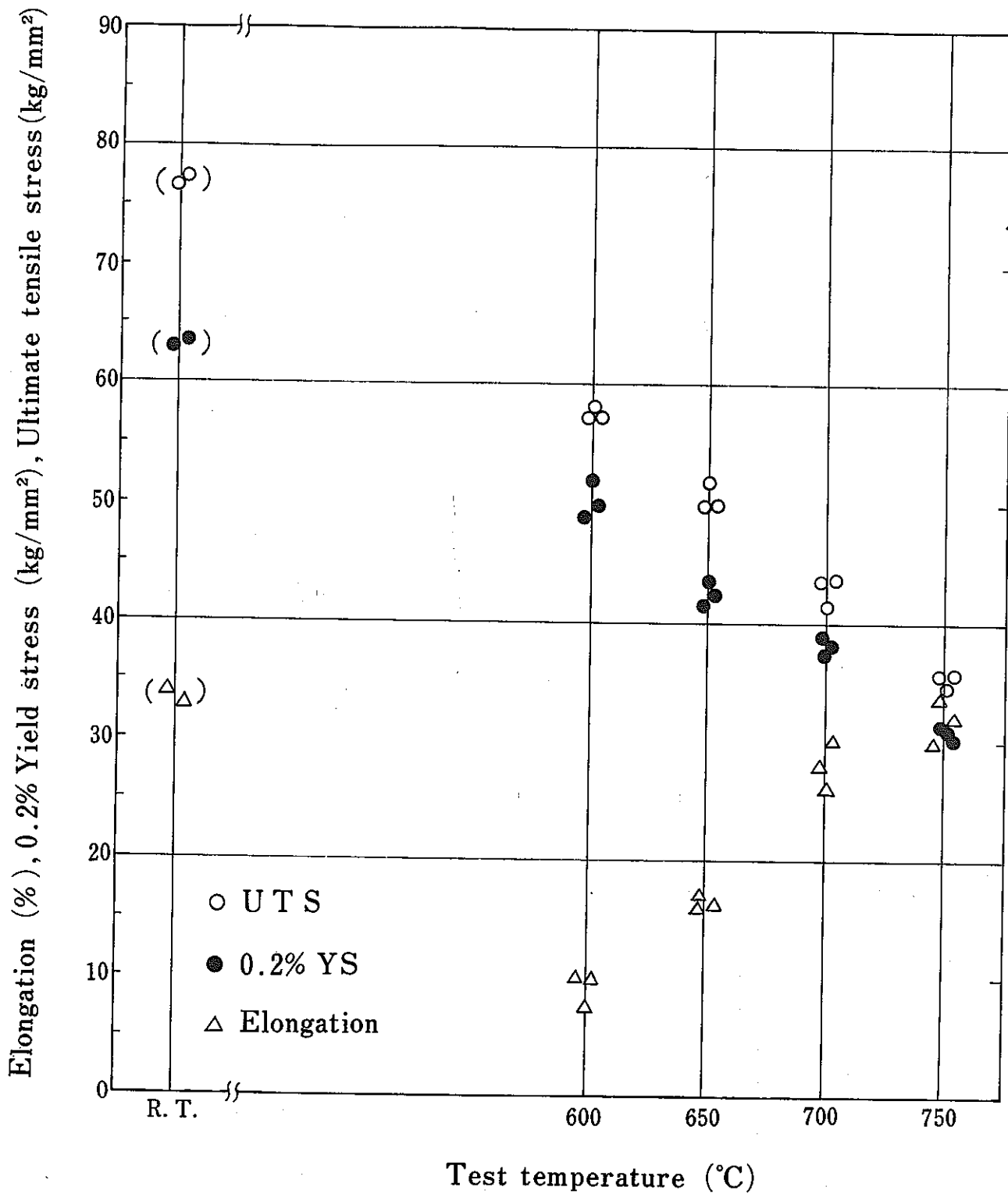


Fig. 1 Tensile properties vs. test temperature.  
(Tube A)

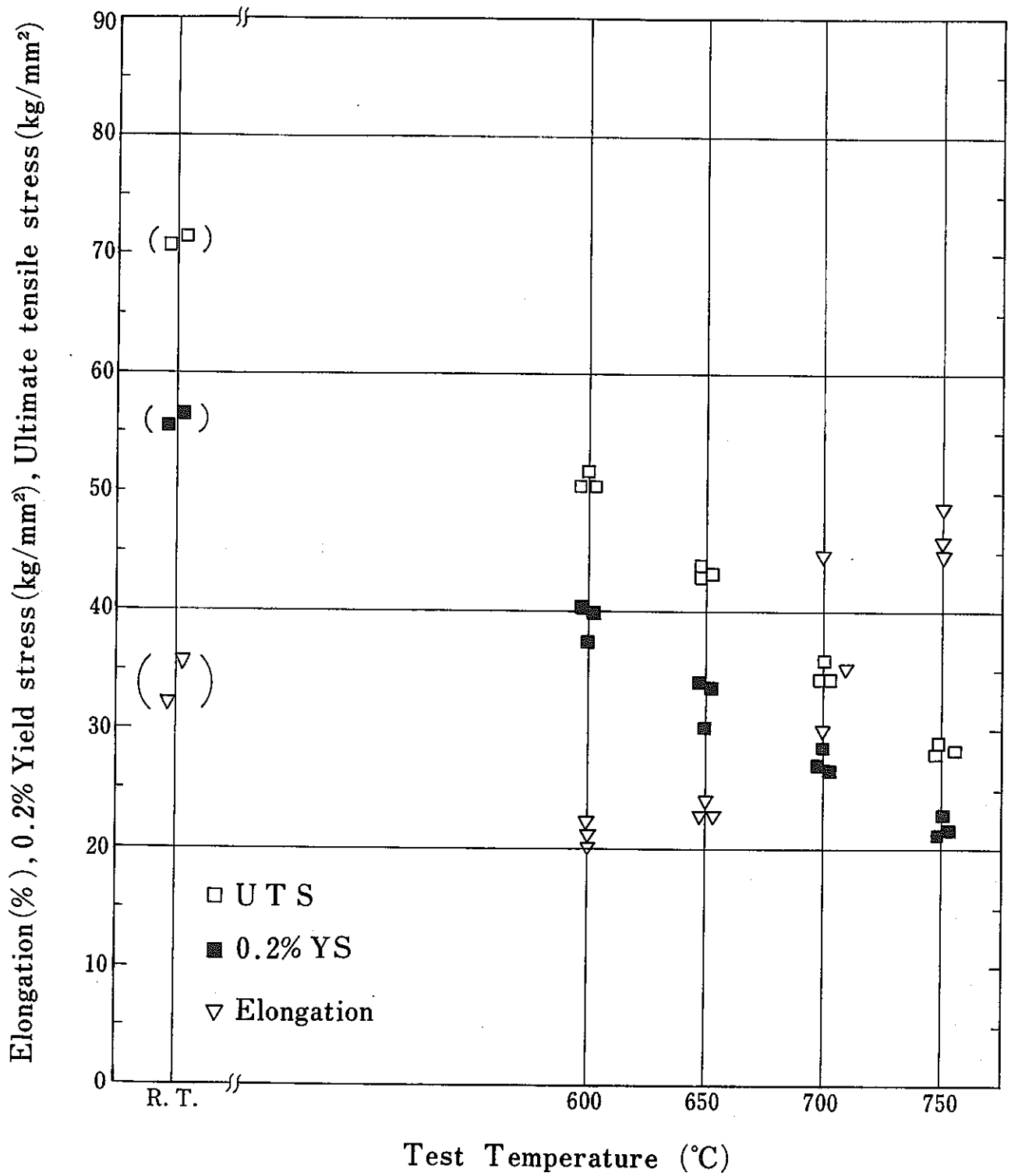


Fig. 2 Tensile Properties vs. test temperature.  
 (Tube B)

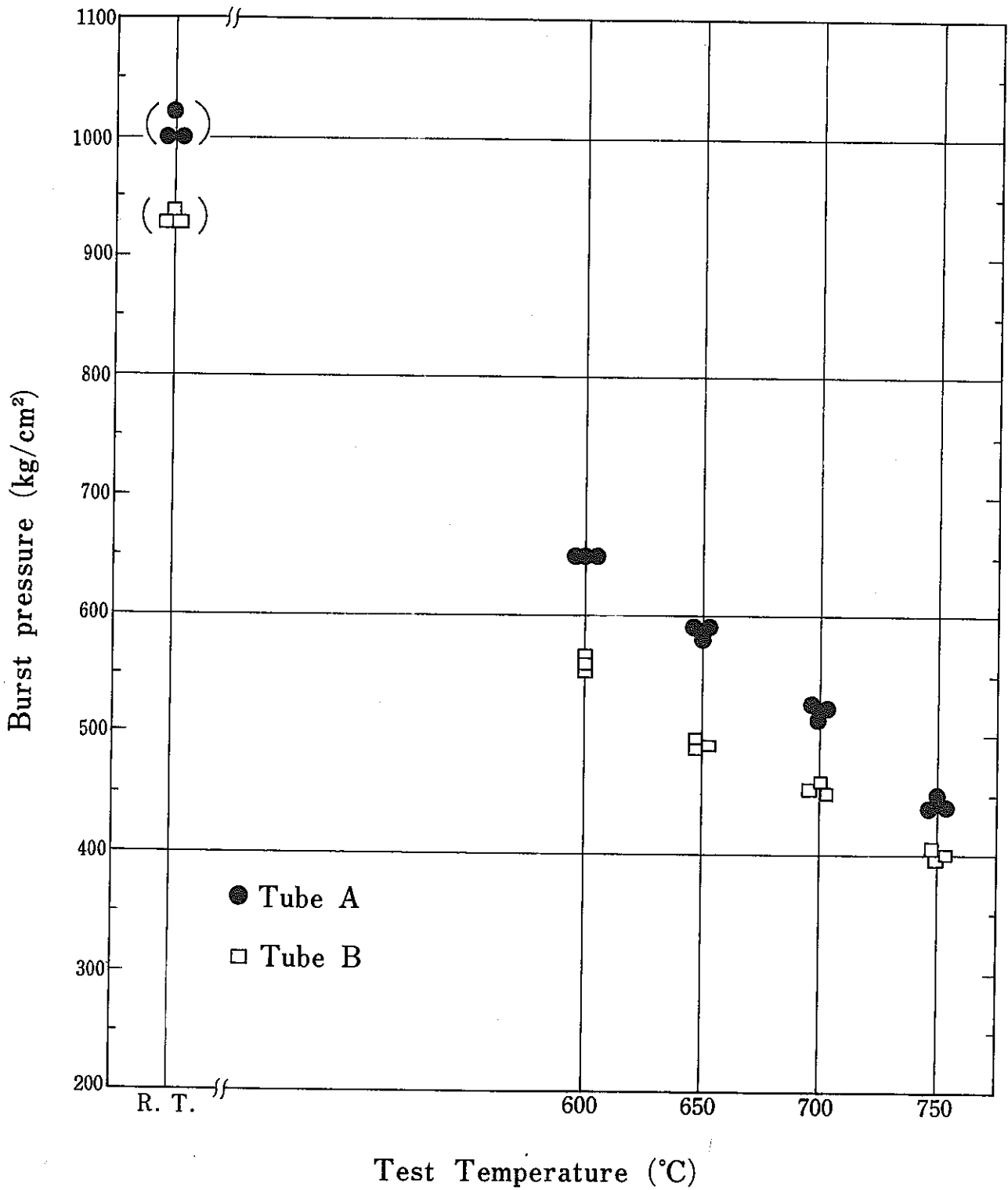


Fig. 3 Burst pressure vs. test temperature.

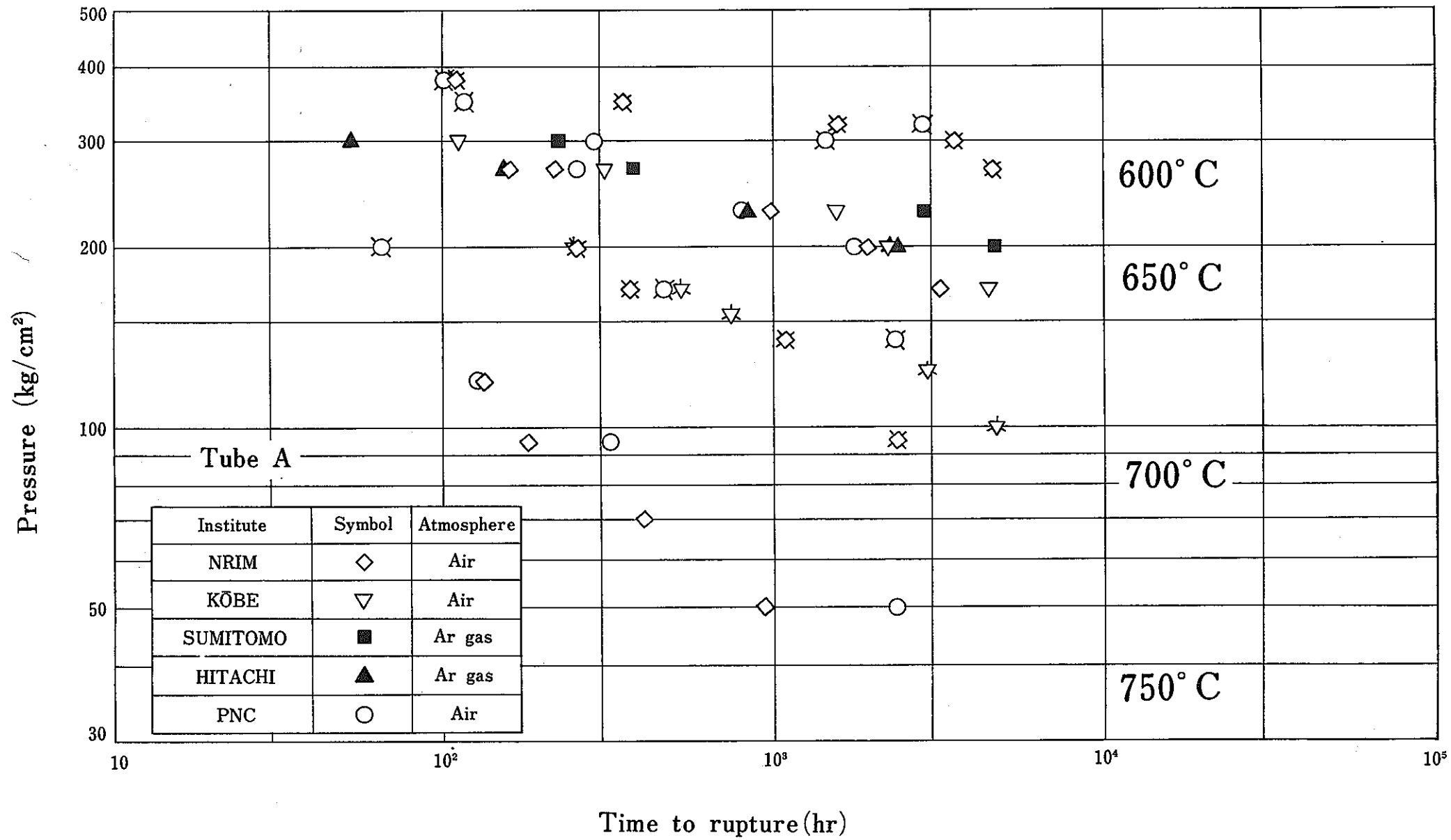


Fig. 4 Creep rupture data under internal pressure for Tube A.



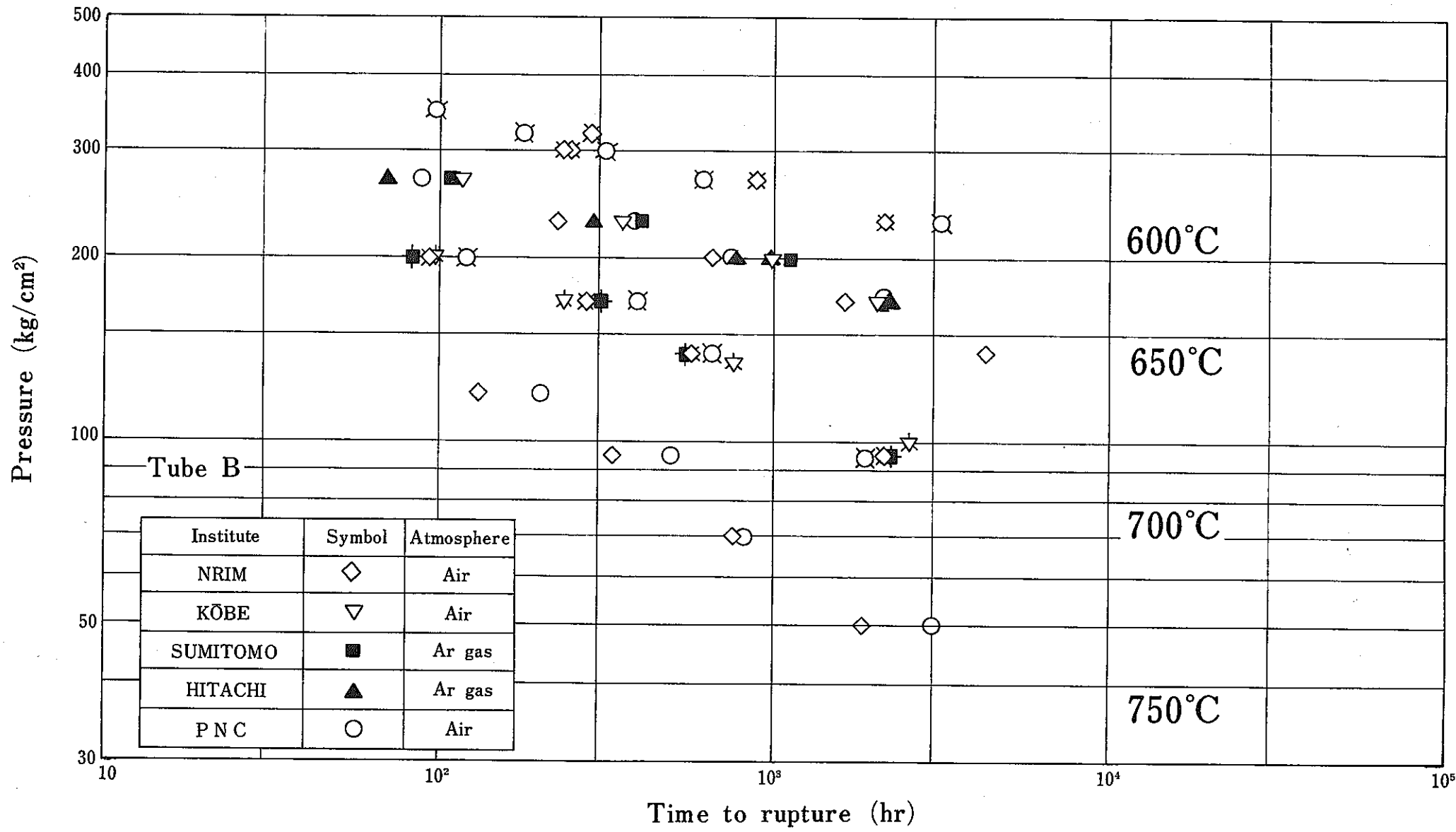


Fig. 5 Creep-rupture data under internalressure for Tube B.

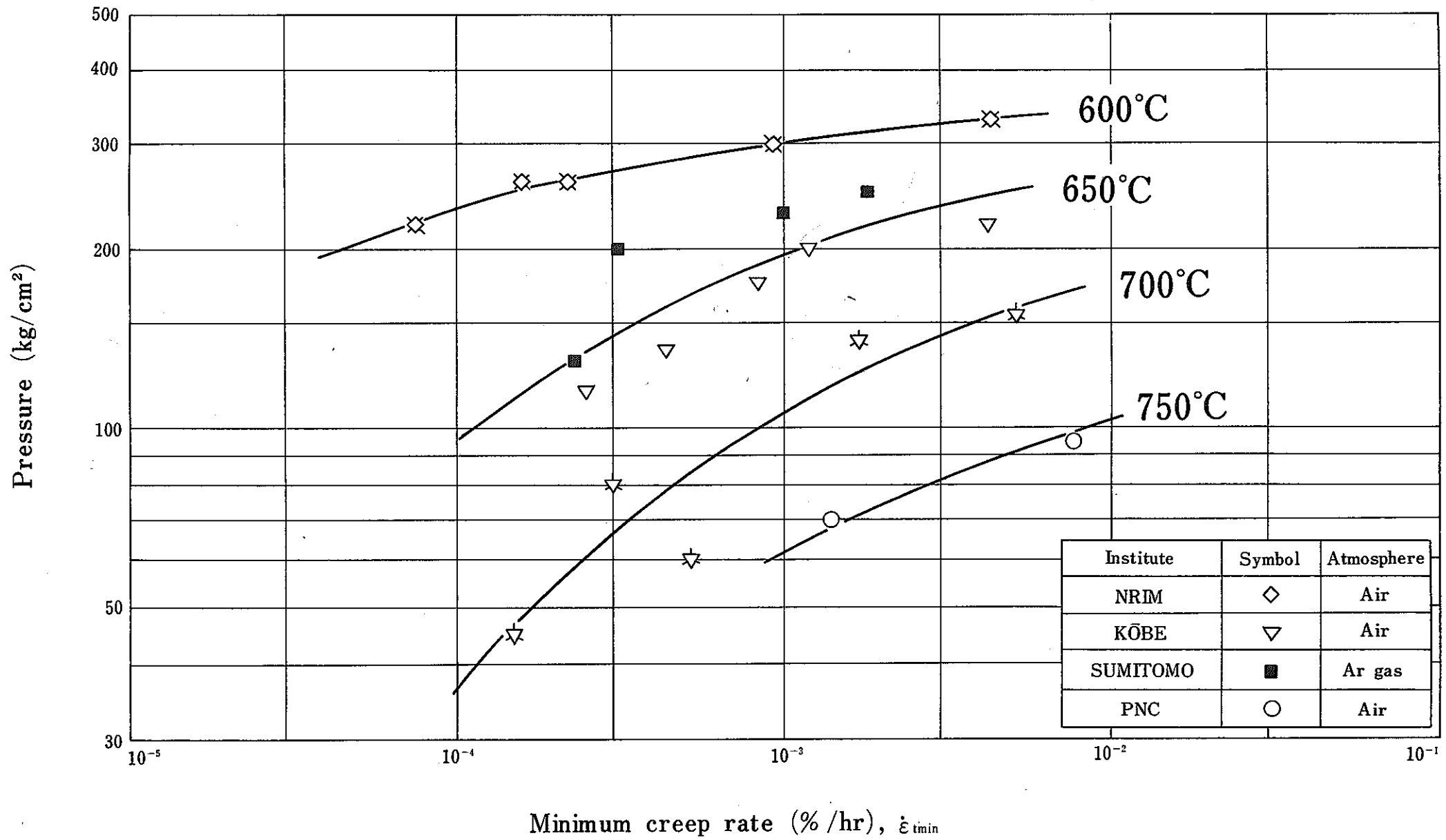


Fig. 6 Relations of pressure versus minimum creep rate under internal pressure for Tube A.

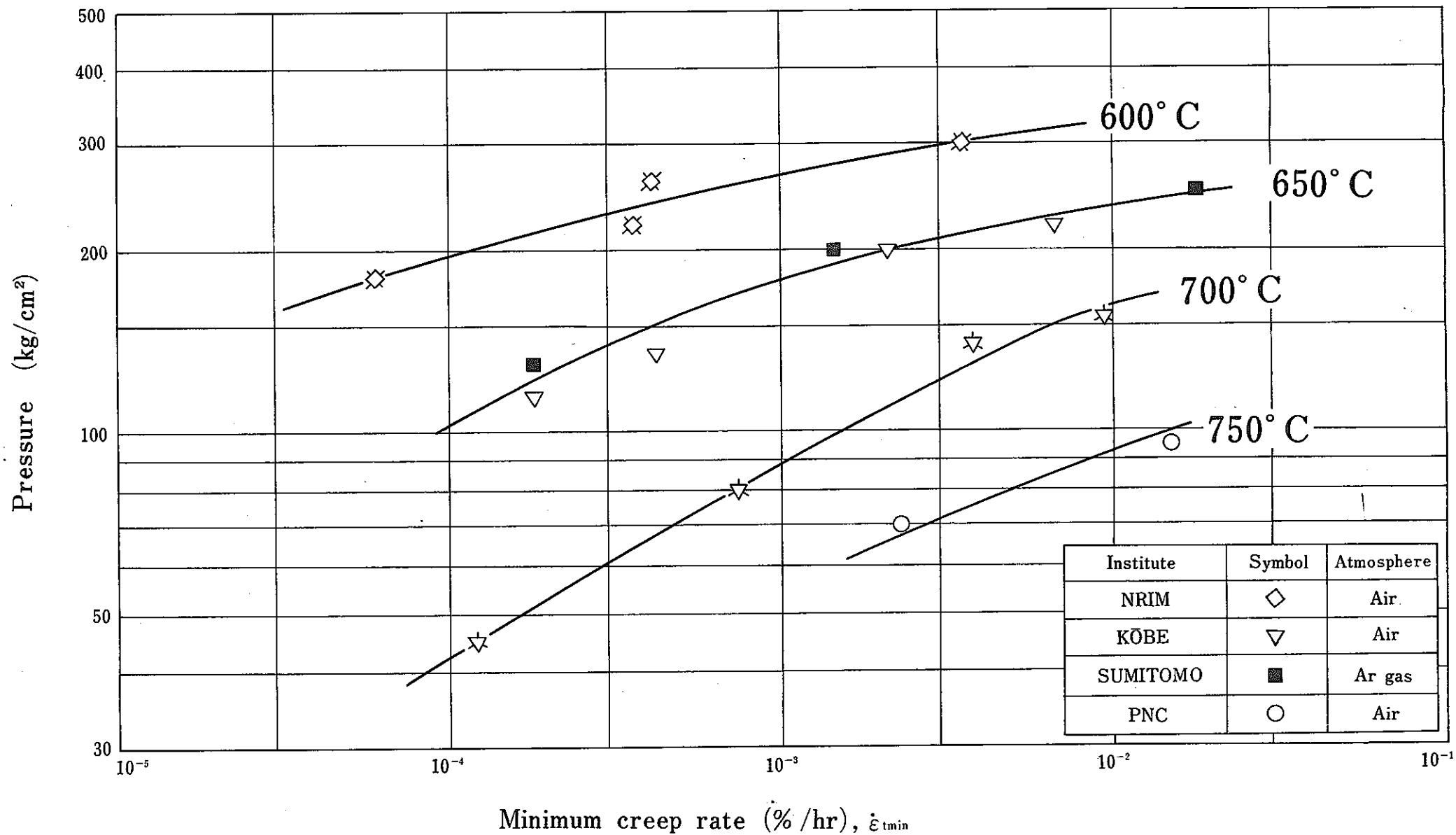


Fig.7 Relations of pressure versus minimum creep rate under internal pressure for Tube B.

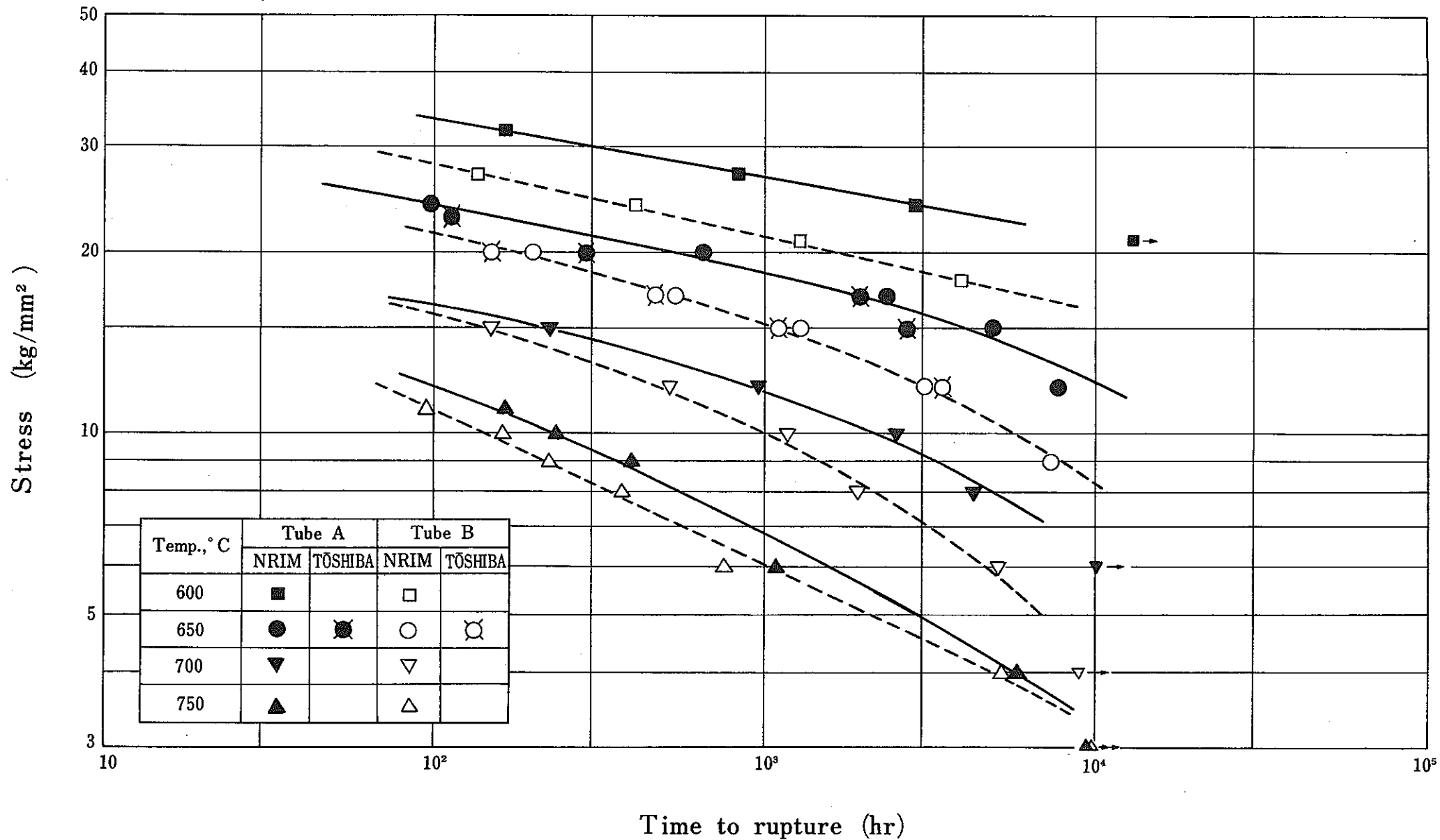


Fig.8 Creep rupture data under uniaxial tension for Tubes A and B.

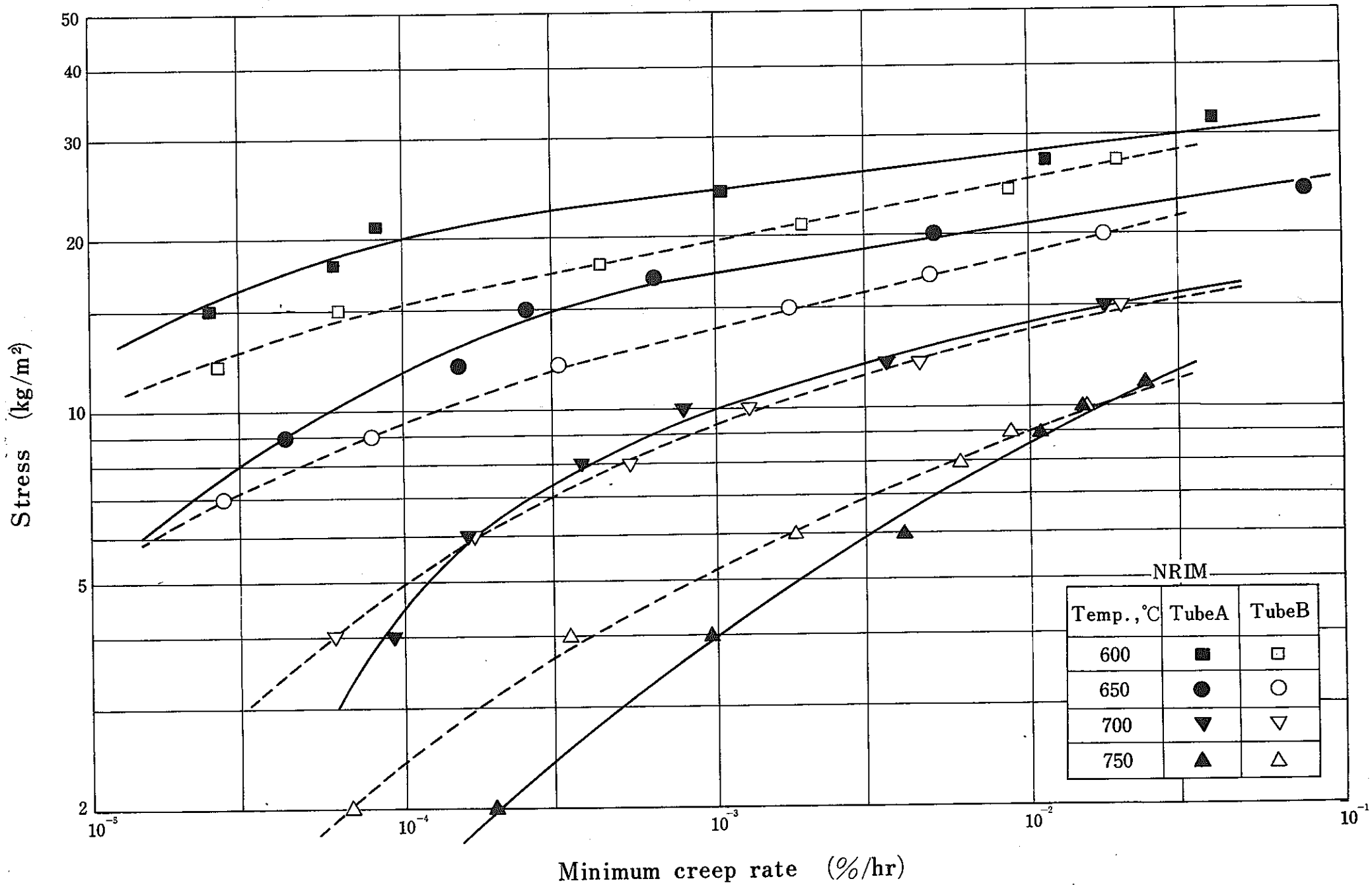


Fig.9 Relations of stress versus minimum creep rate under uniaxial tension for Tubes A and B.

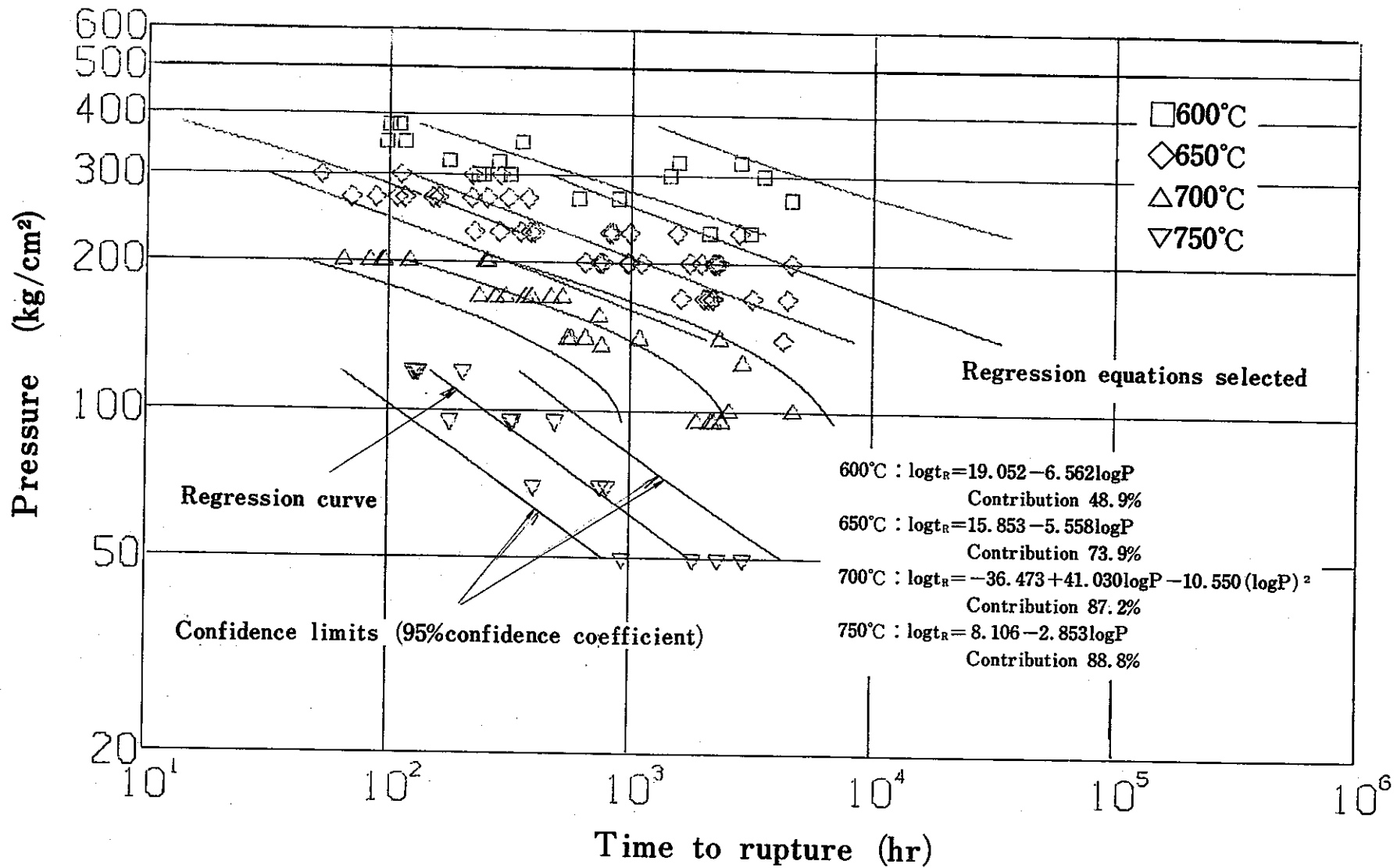


Fig. 10 Regression curves and confidence intervals on creep rupture data under internal pressure for Tubes A and B.

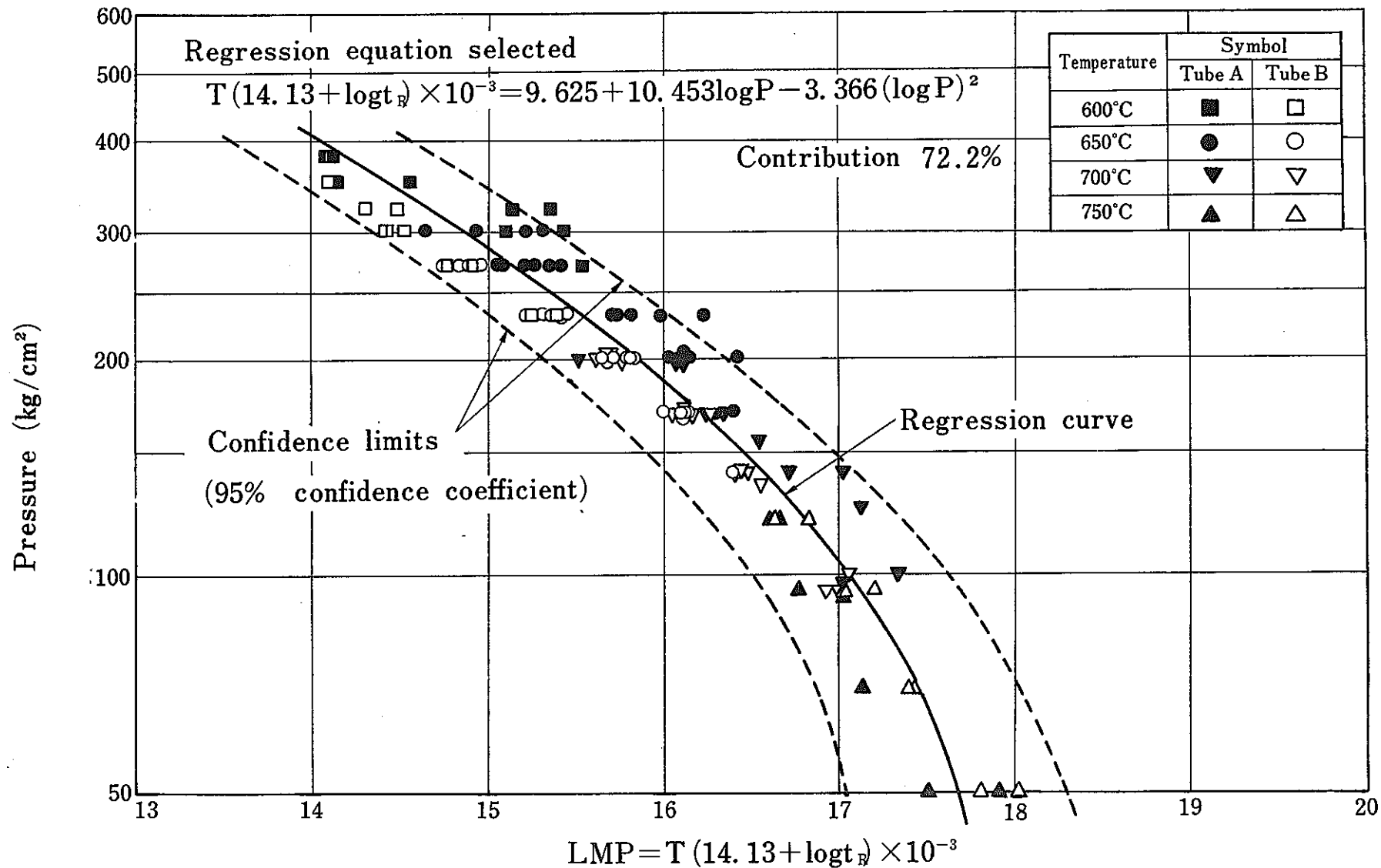


Fig.11 Regression curve and confidence interval on master rupture data under internal pressure for Tubes A and B.

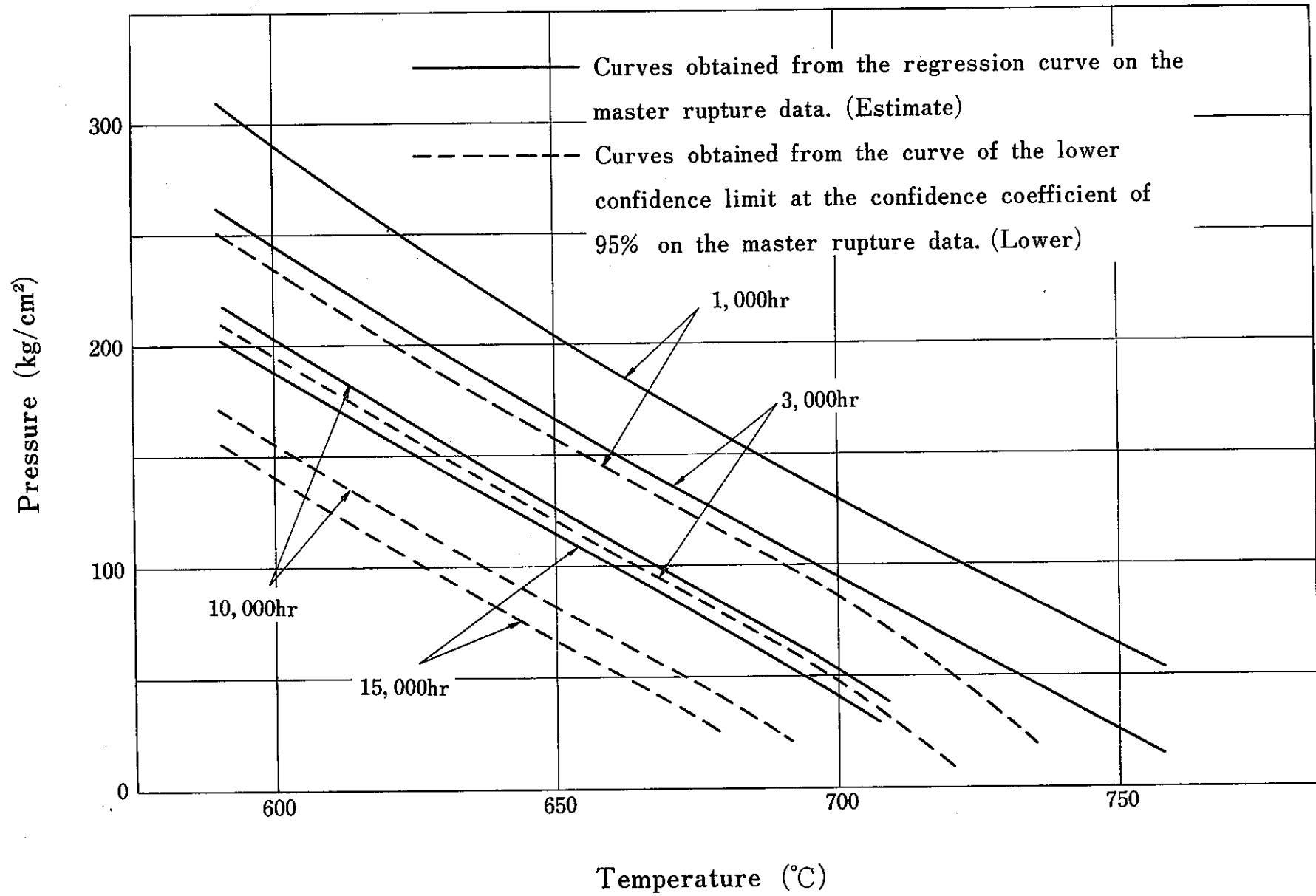


Fig. 12 Relations of temperature versus pressure estimated from the regression curve and the confidence interval on the master rupture data under internal pressure for Tubes A and B.



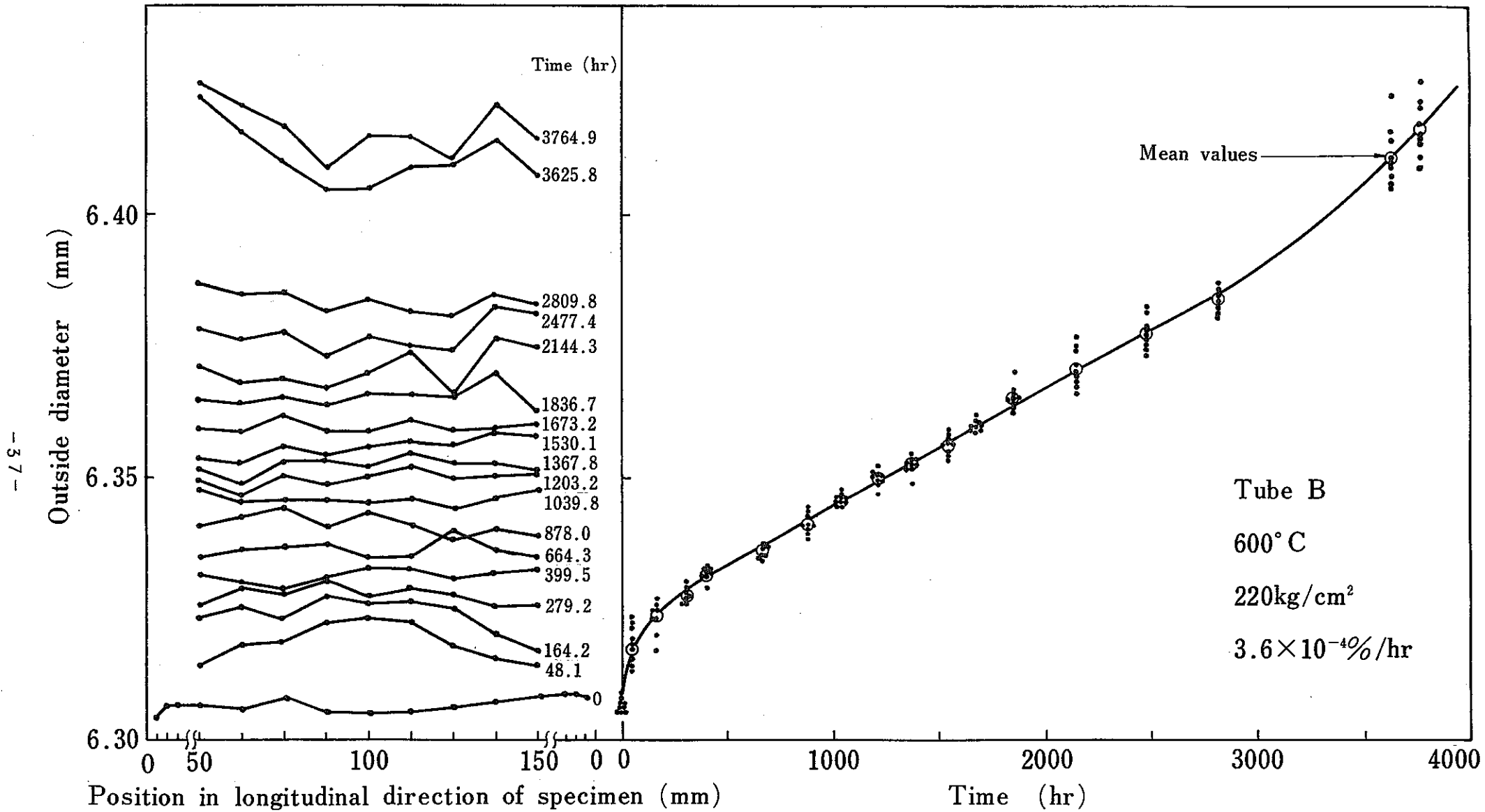


Fig. 13 Some example of relation of outside diameter versus position in longitudinal direction of specimen during creep and relation of outside diameter versus time under internal pressure.

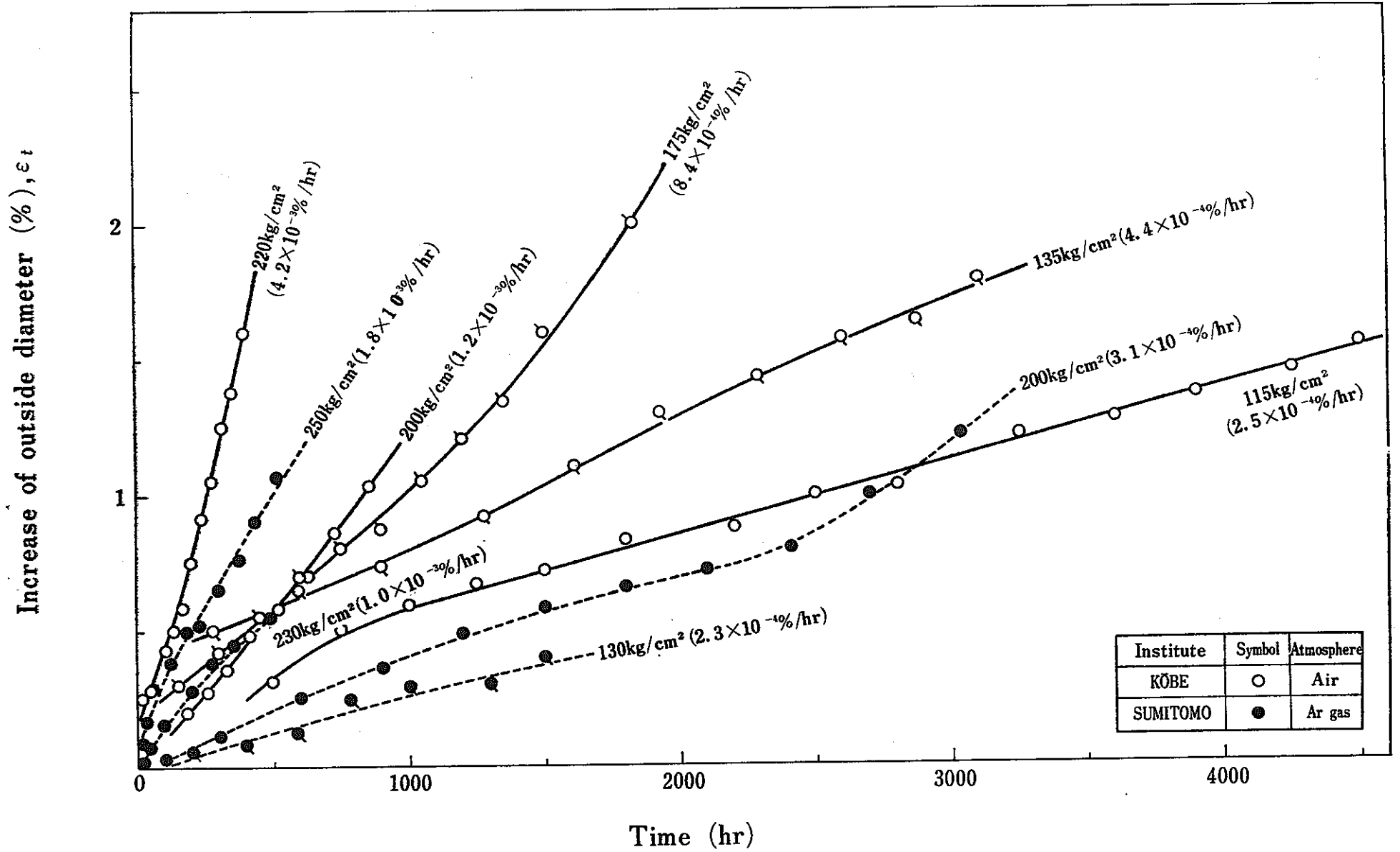


Fig. 14 Creep curves under internal pressure for Tube A at 650°C.

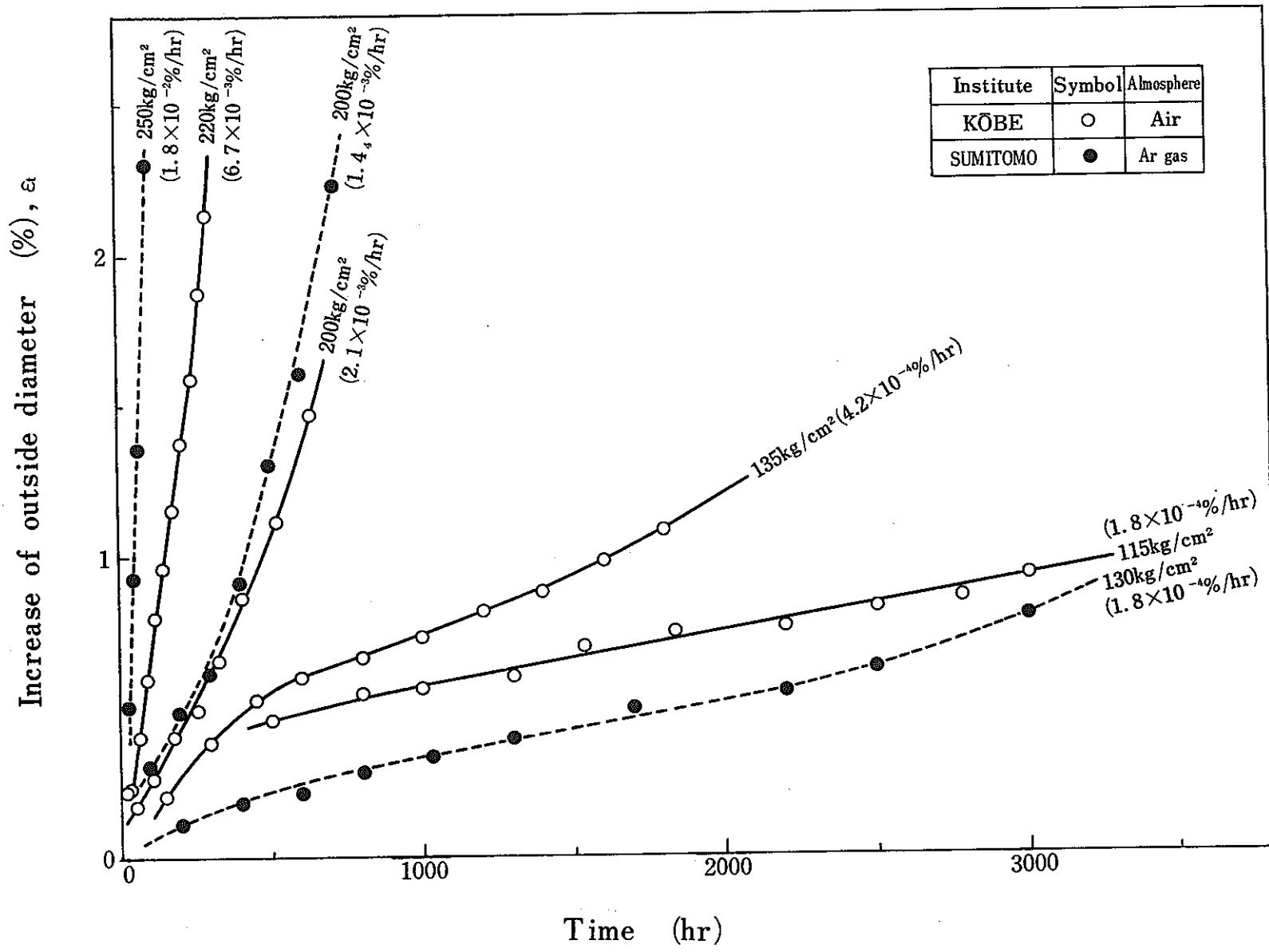


Fig.15 Creep curves under internal pressure for Tube B at 650°C.

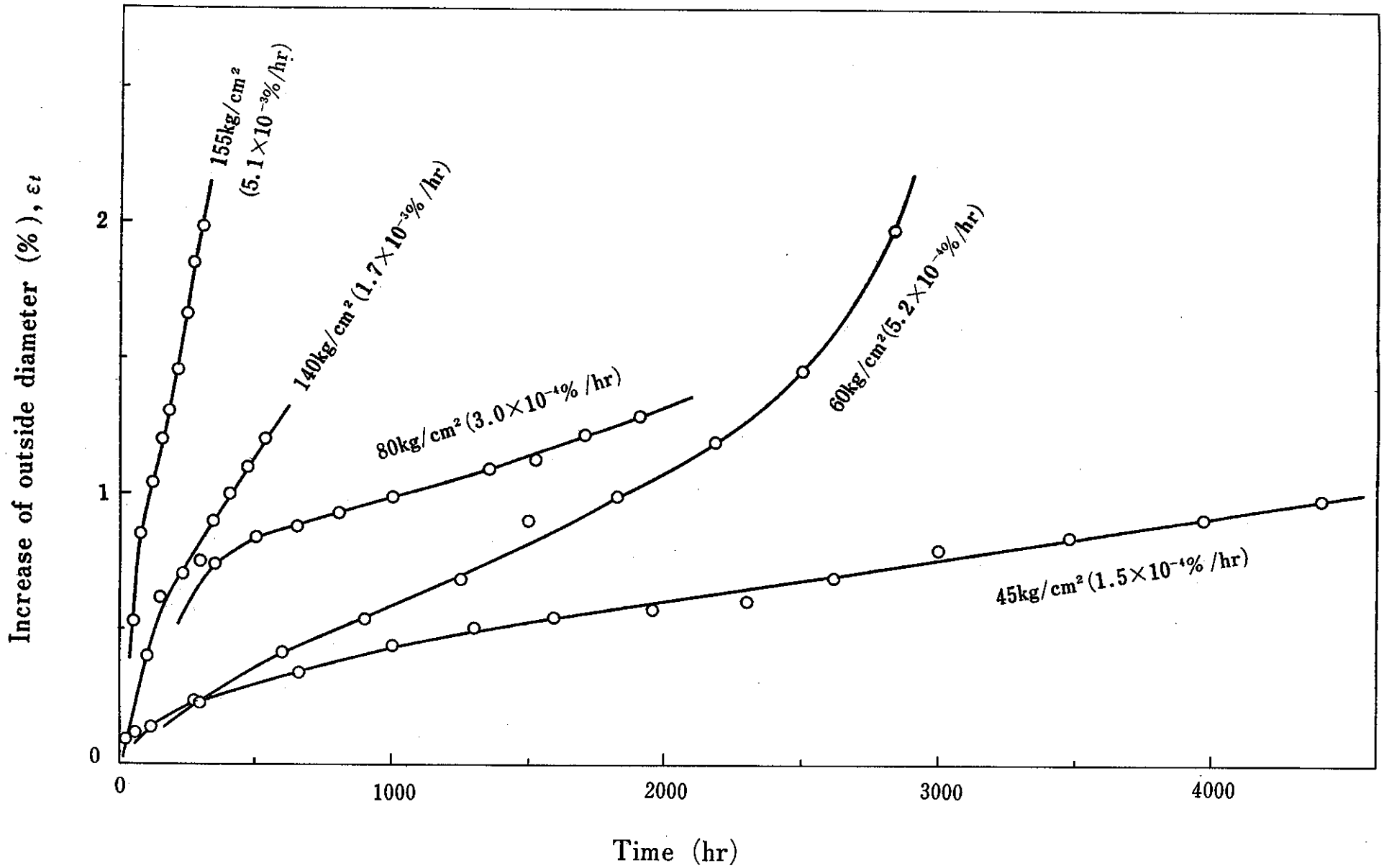


Fig. 16 Creep curves under internal pressure for Tube A at 700°C.

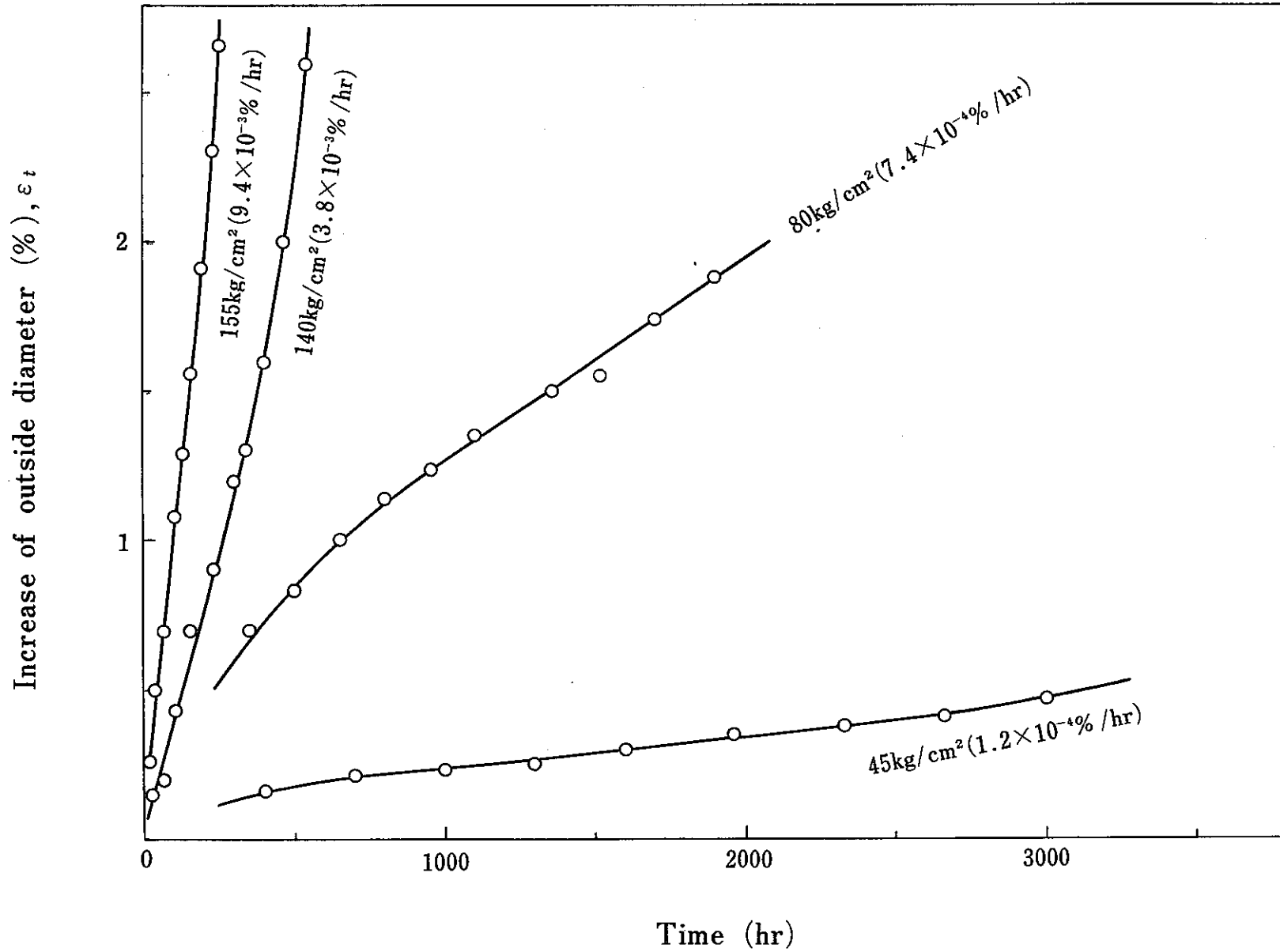


Fig. 17 Creep curves under internal pressure for Tube B at 700°C.

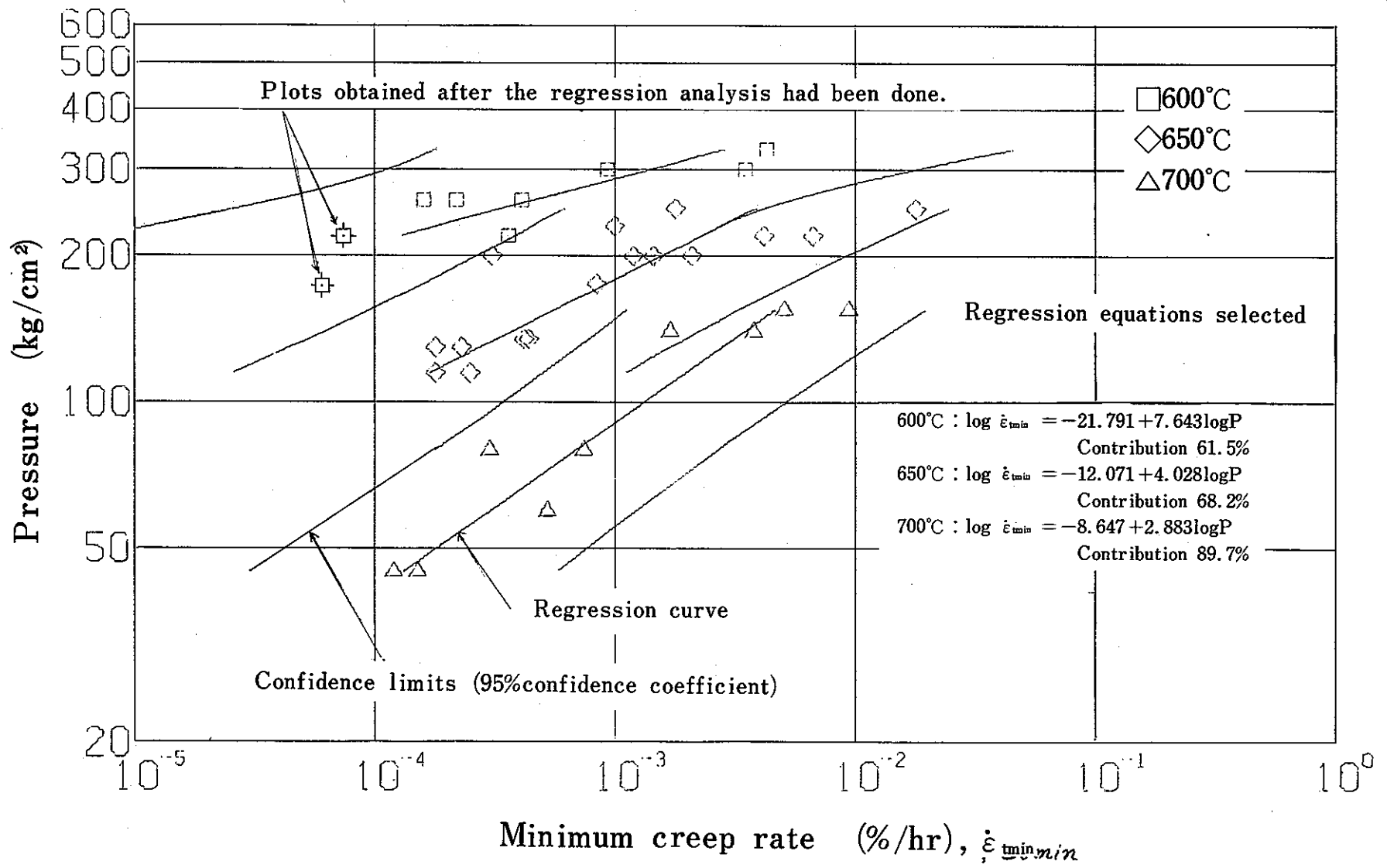


Fig.18 Regression curves and confidence intervals on minimum creep rate data under internal pressure for Tubes A and B.

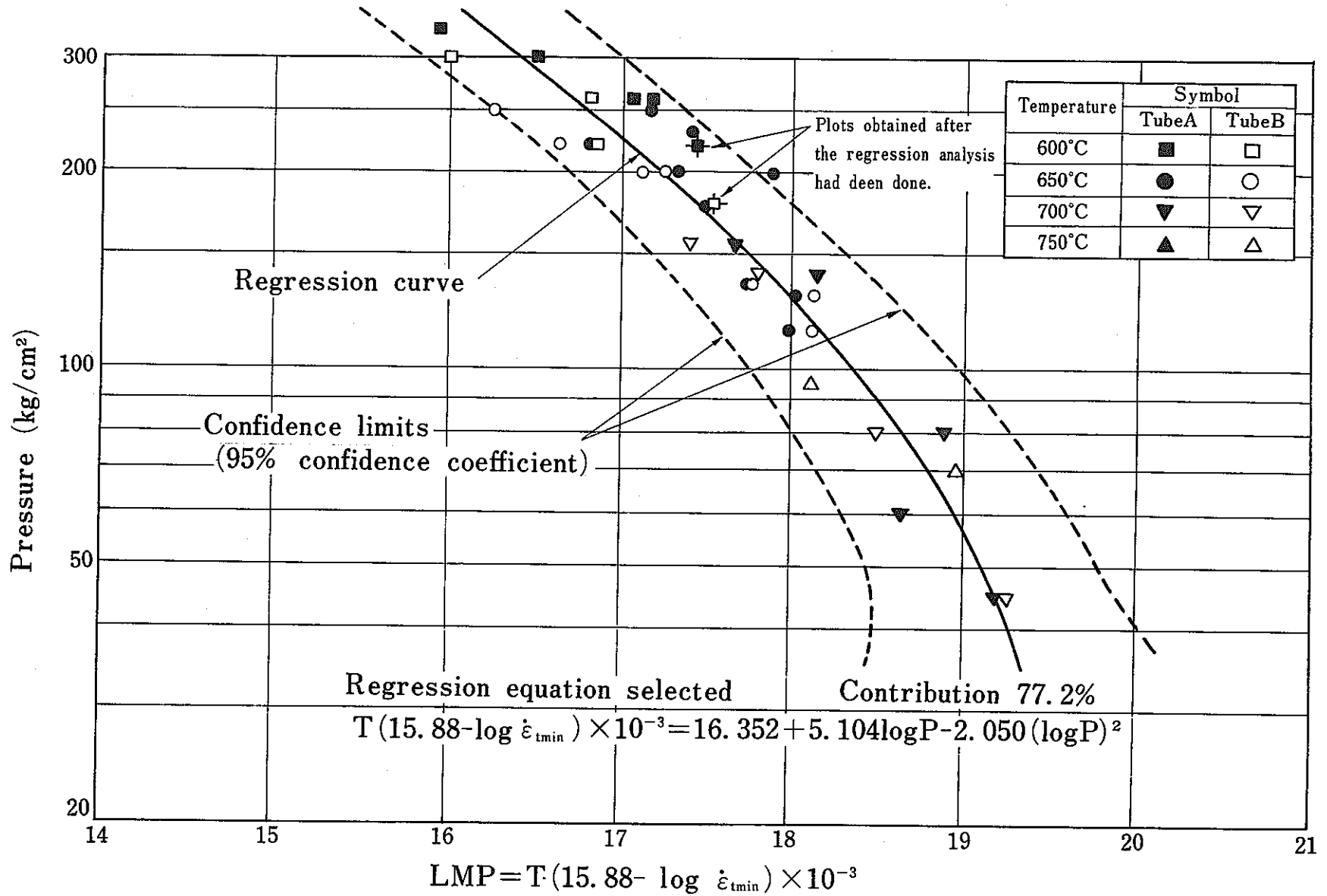


Fig. 19 Regression curve and confidence interval on master creep data under internal pressure for Tubes A and B.

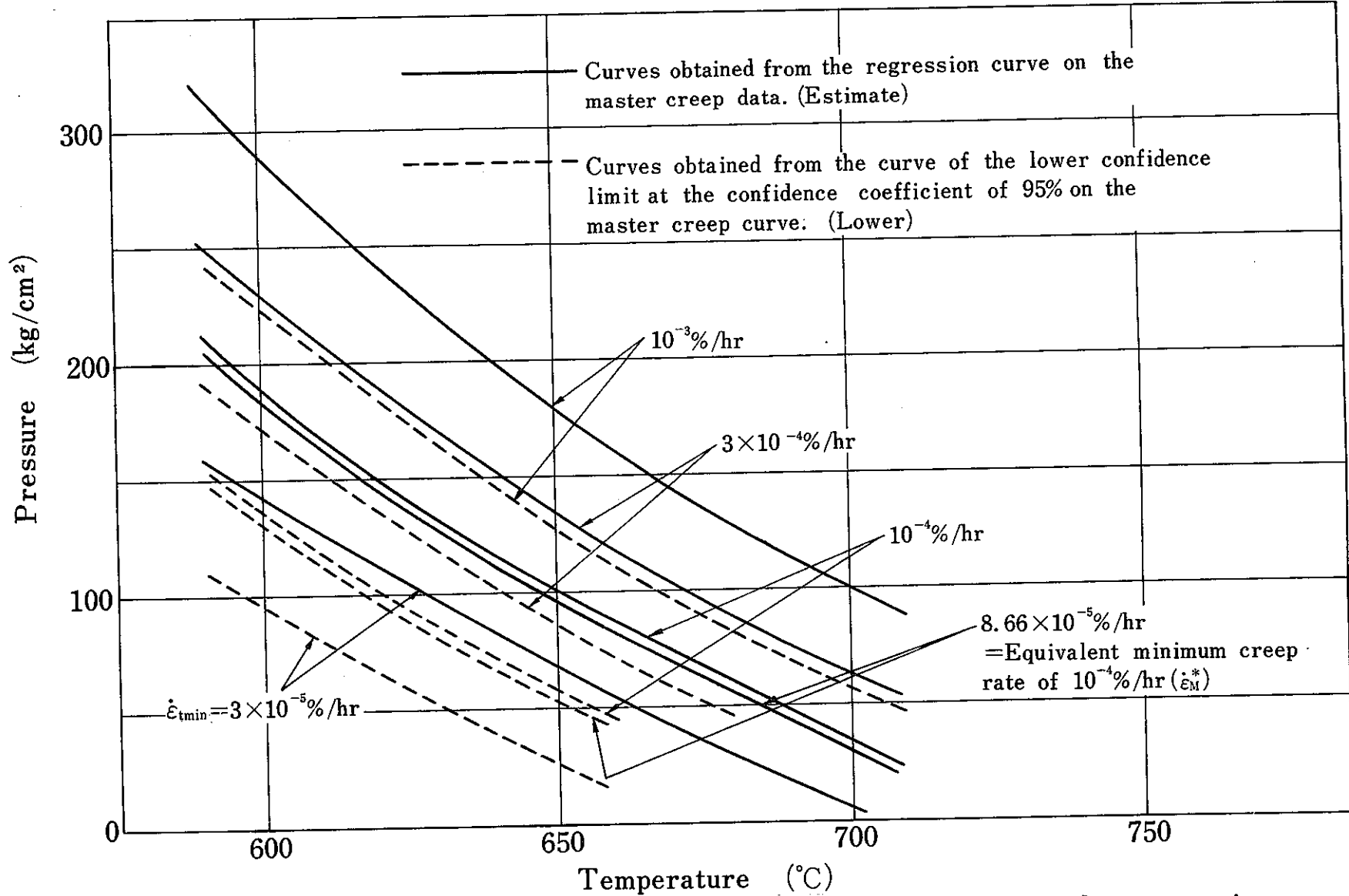


Fig.20 Relations of temperature versus pressure estimated from the regression curve and the confidence interval on the master creep data under internal pressure for Tubes A and B.



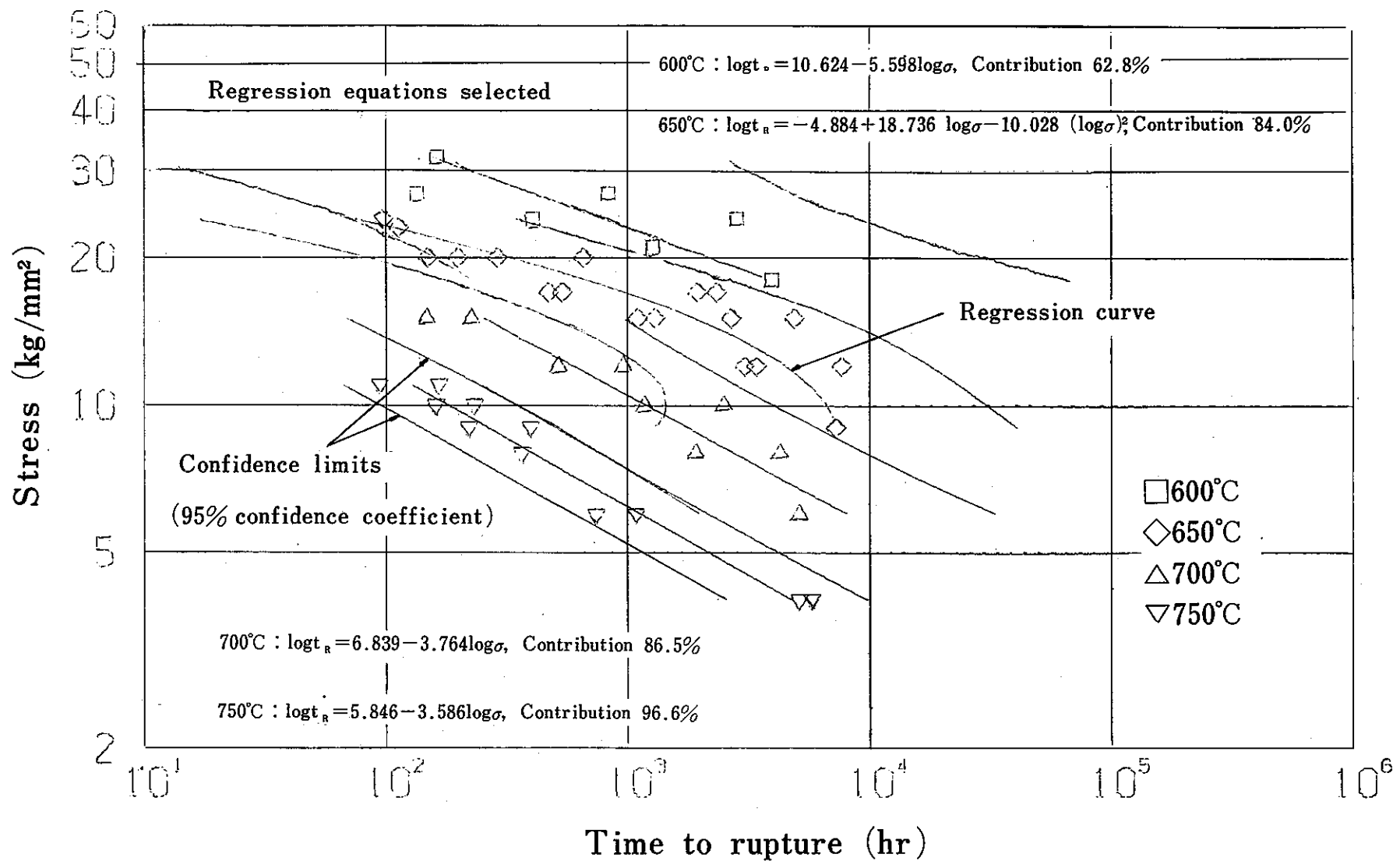


Fig. 21 Regression curves and confidence intervals on creep rupture under uniaxial tension for Tubes A and B.

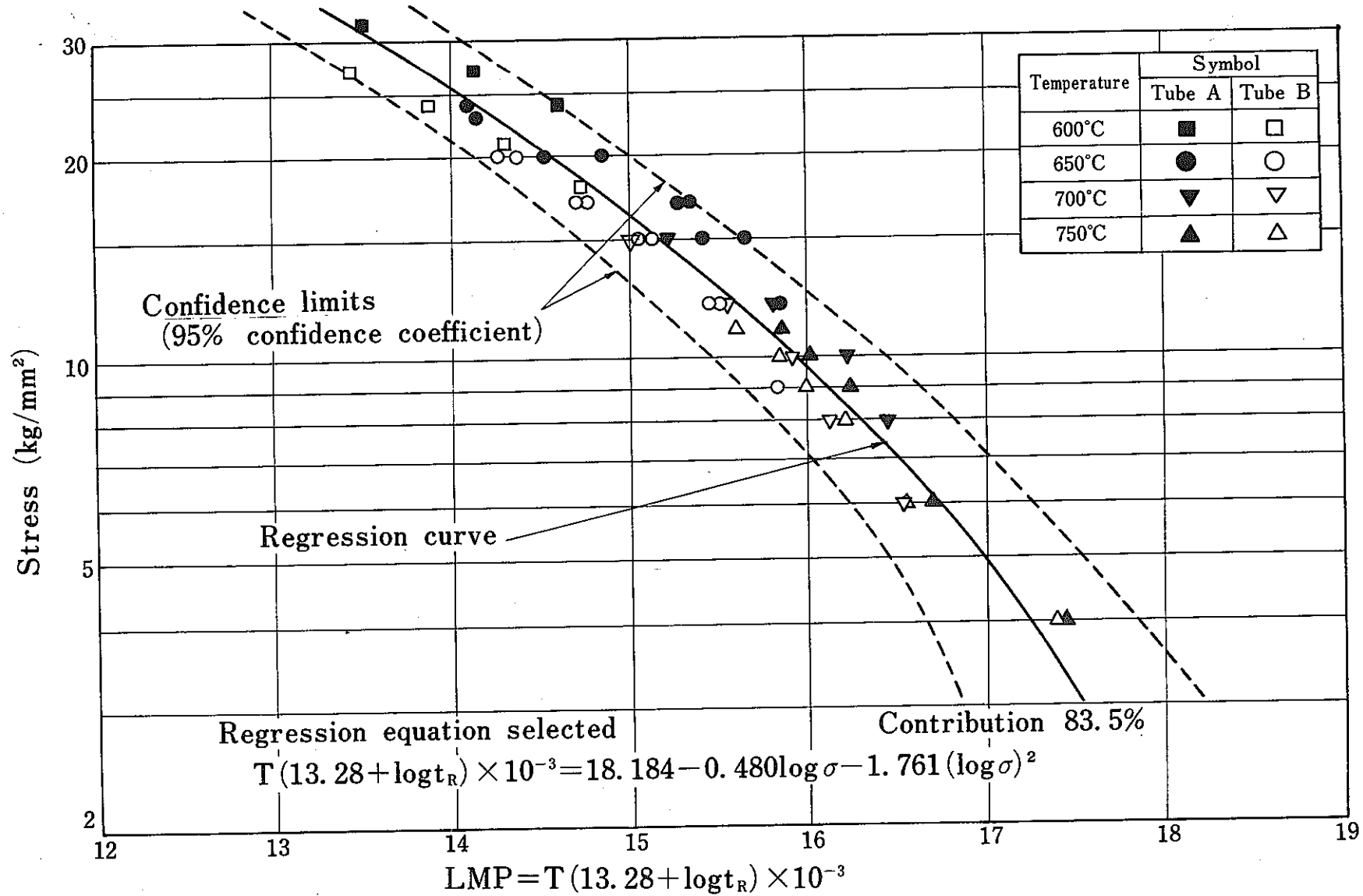


Fig. 22 Regression curve and confidence interval on master rupture data under uniaxial tension for Tubes A and B.

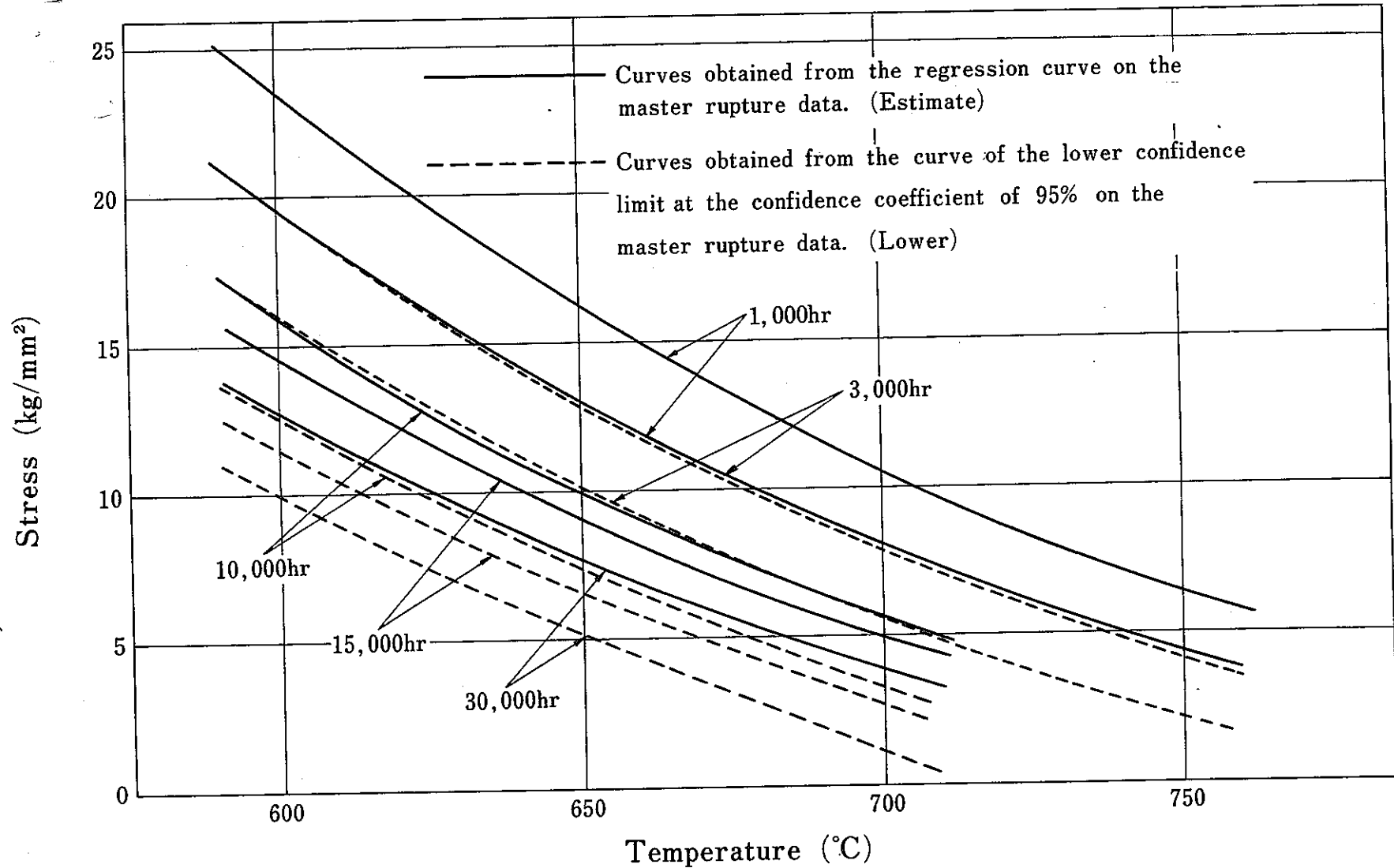


Fig. 23 Relations of temperature versus stress estimated from the regression curve and the confidence interval on the master rupture data under uniaxial tension for Tubes A and B.

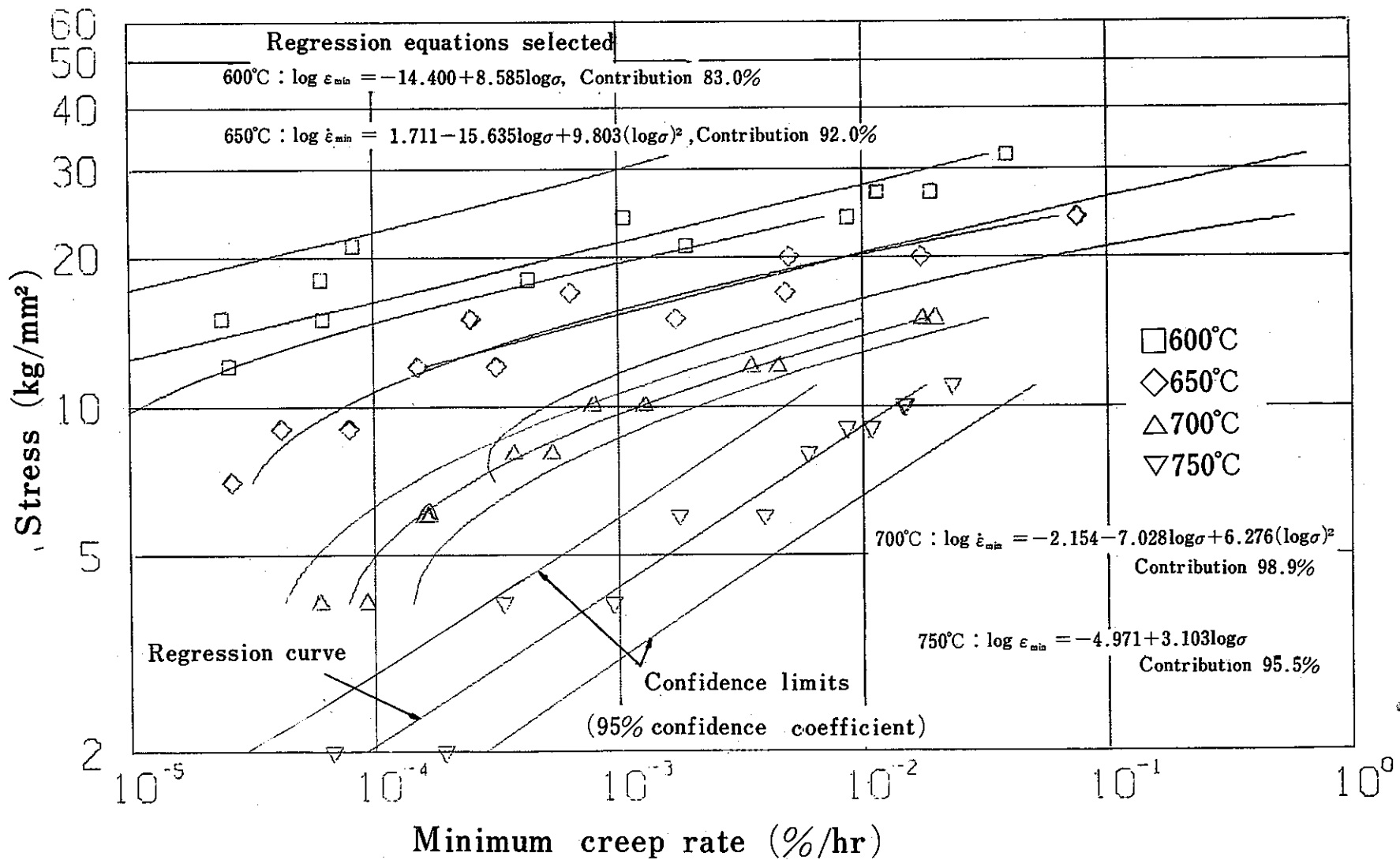


Fig. 24 Regression curves and confidence intervals on minimum creep rate data under uniaxial tension for Tubes A and B.

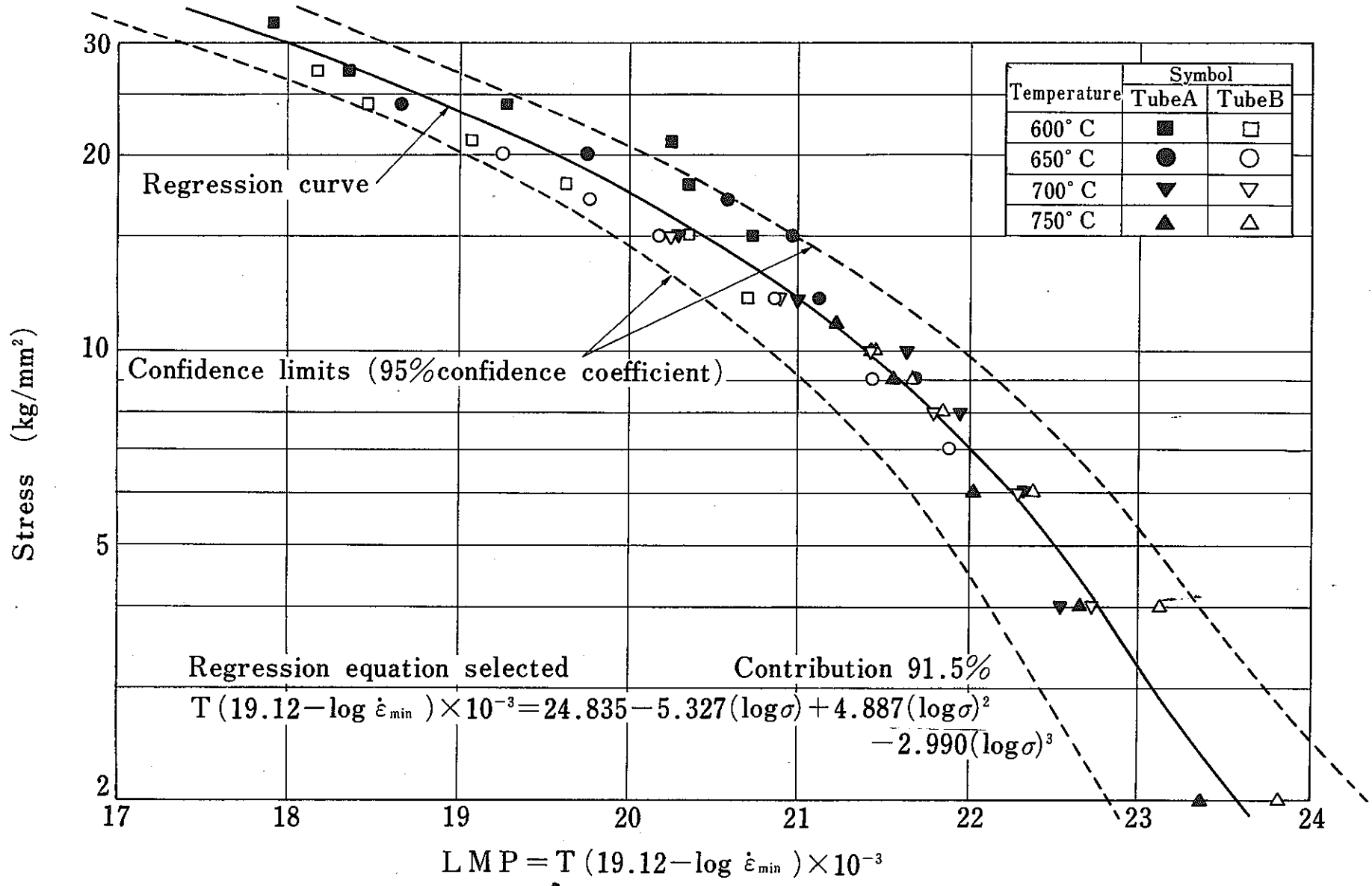


Fig. 25 Regression curve and confidence interval on master creep data under uniaxial tension for Tubes A and B.

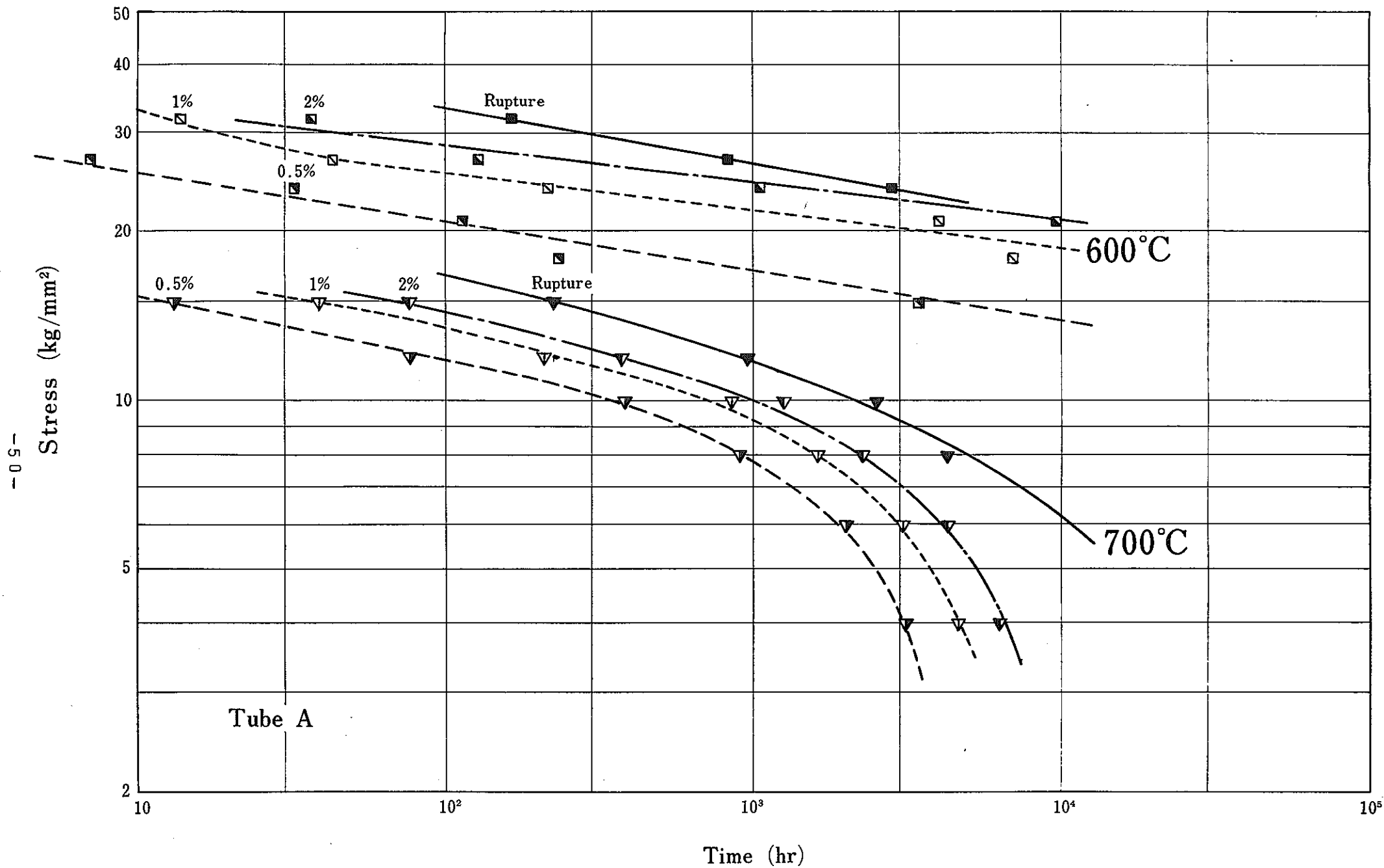


Fig. 26 Relations of stress versus time for total strain of 0.5%, 1% and 2% under uniaxial tension for Tube A at 600°C and 700°C.

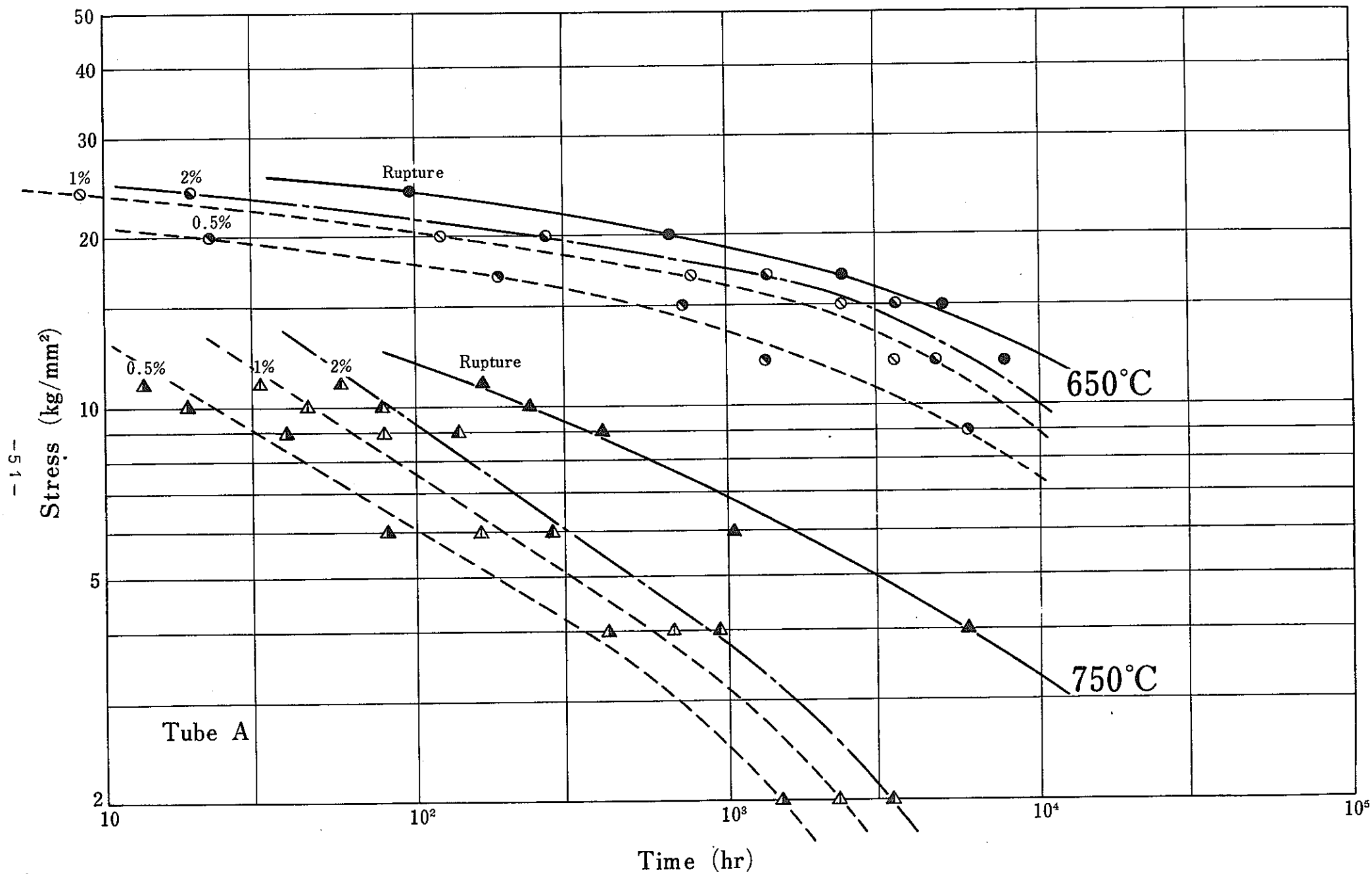


Fig. 27 Relations of stress versus time for total strain of 0.5%, 1% and 2% under uniaxial tension for Tube A at 650°C and 750°C.

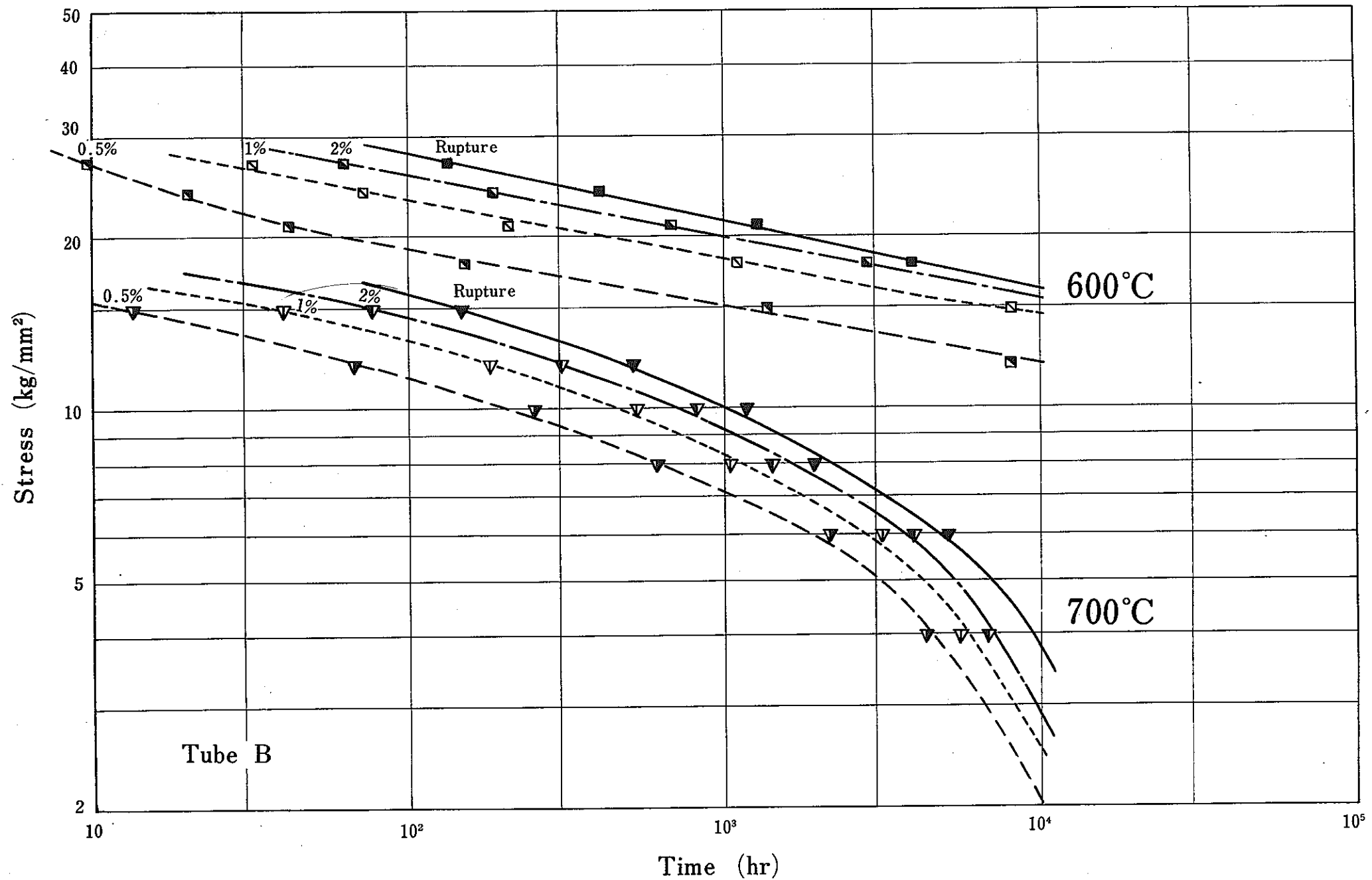


Fig.28 Relations of stress versus time for total strain of 0.5%, 1% and 2% under uniaxial tension for Tube B at 600°C and 700°C.



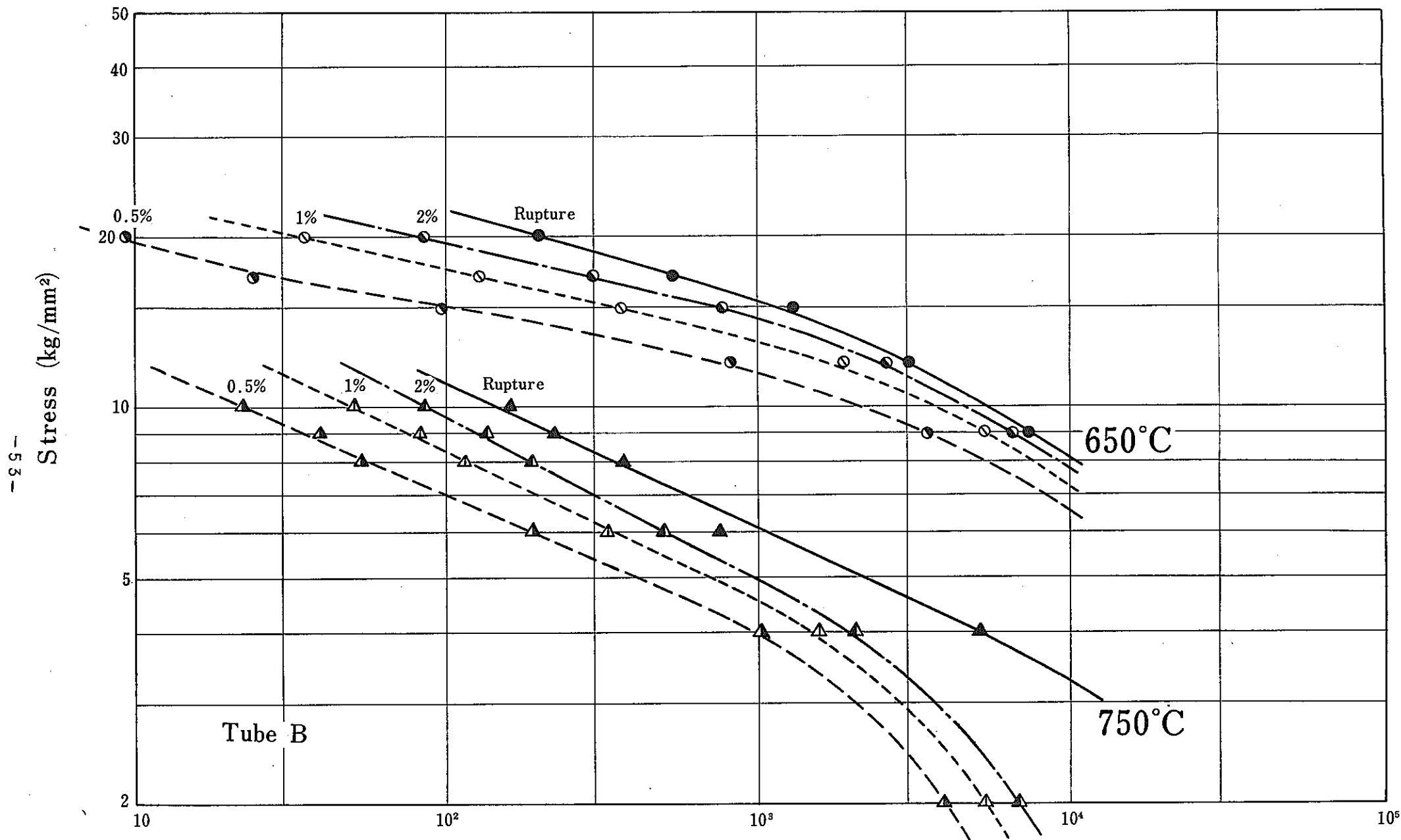


Fig. 29 Relations of stress versus time for total strain of 0.5%, 1% and 2% under uniaxial tension for Tube B at 650°C and 750°C.

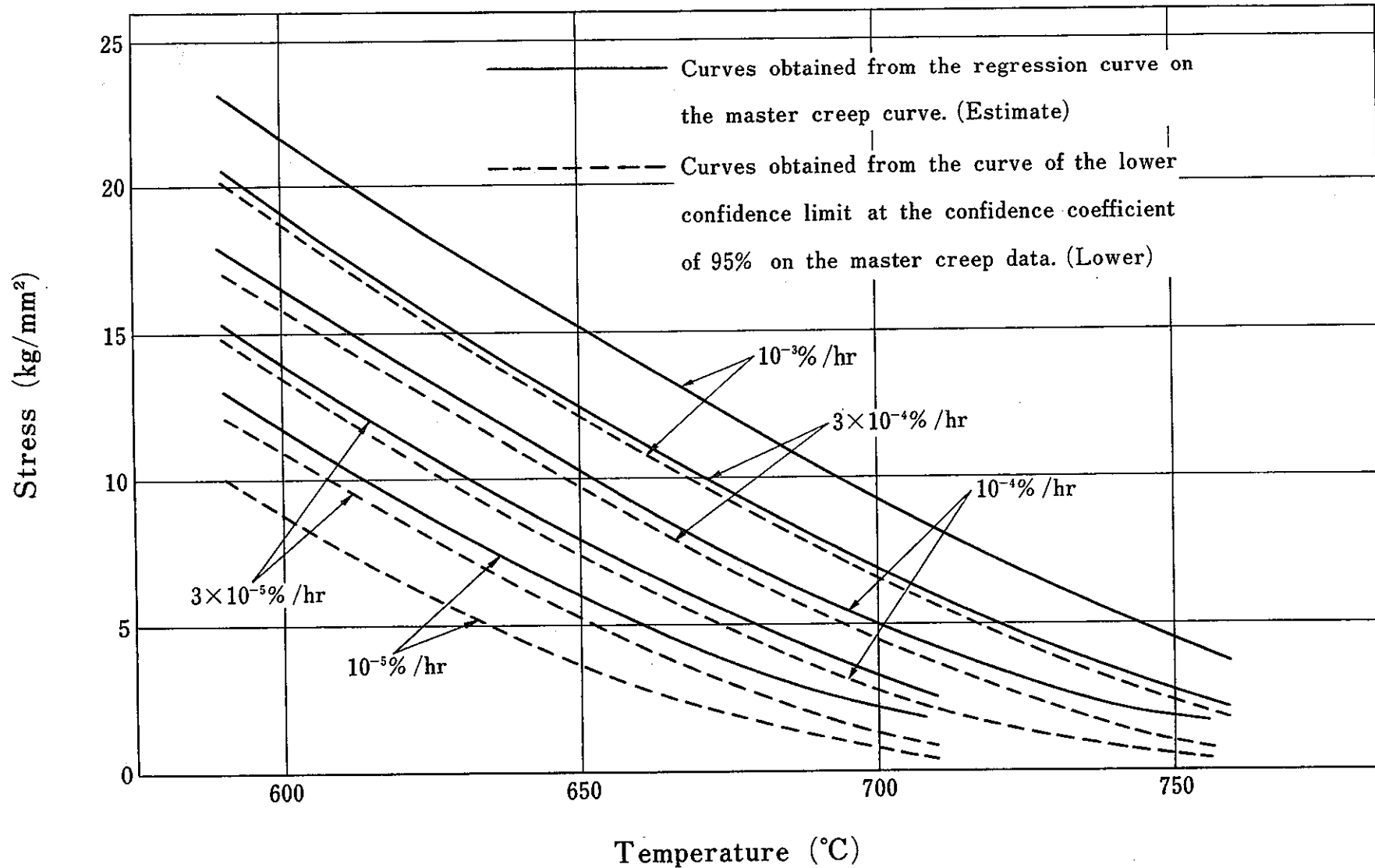


Fig. 30 Relations of temperature versus stress estimated from the regression curve and the confidence interval on the master creep data under uniaxial tension for Tubes A and B.

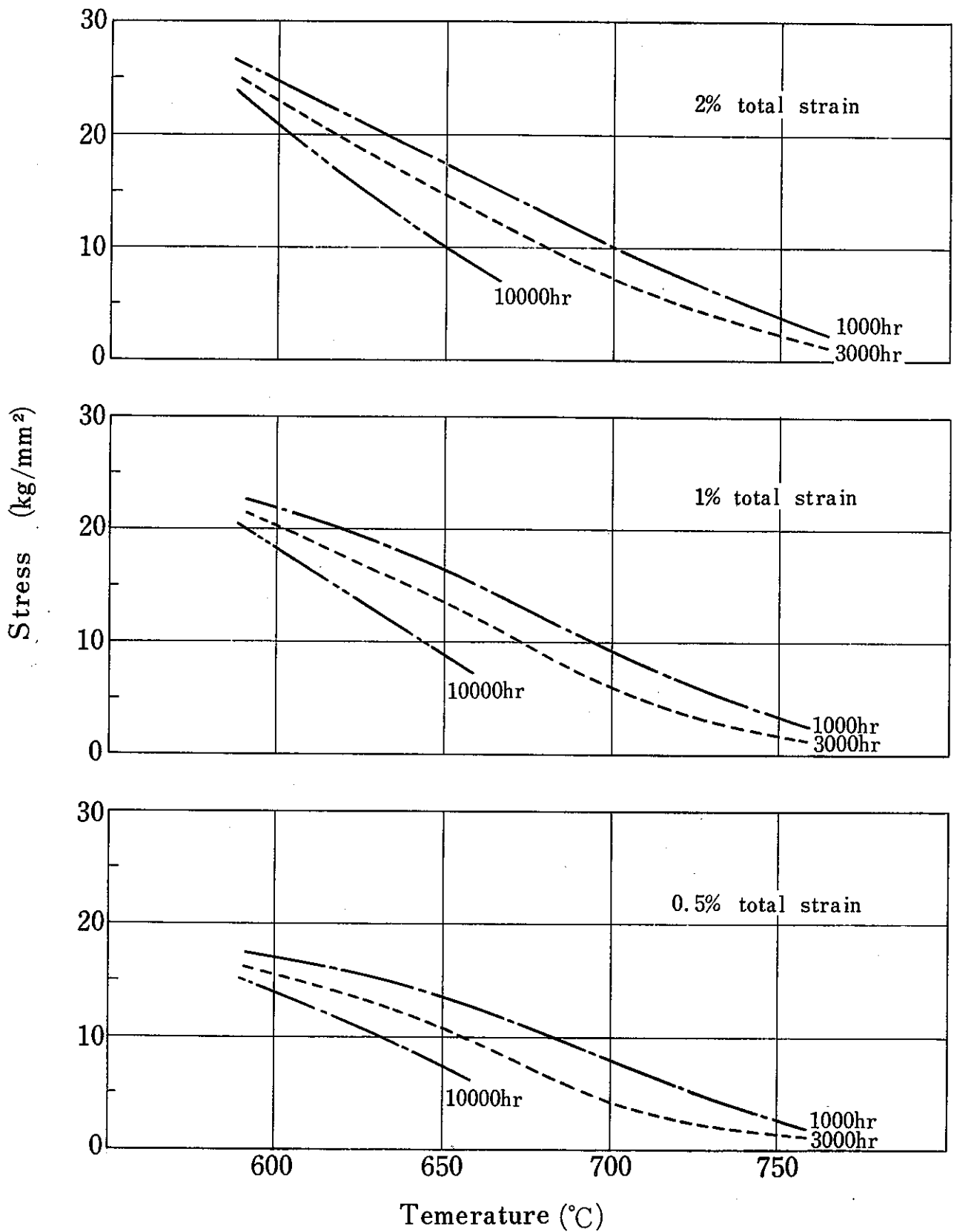


Fig. 31 Relations of temperature versus stress at each time for total strain of 0.5%, 1% and 2% under uniaxial tension for Tube A.

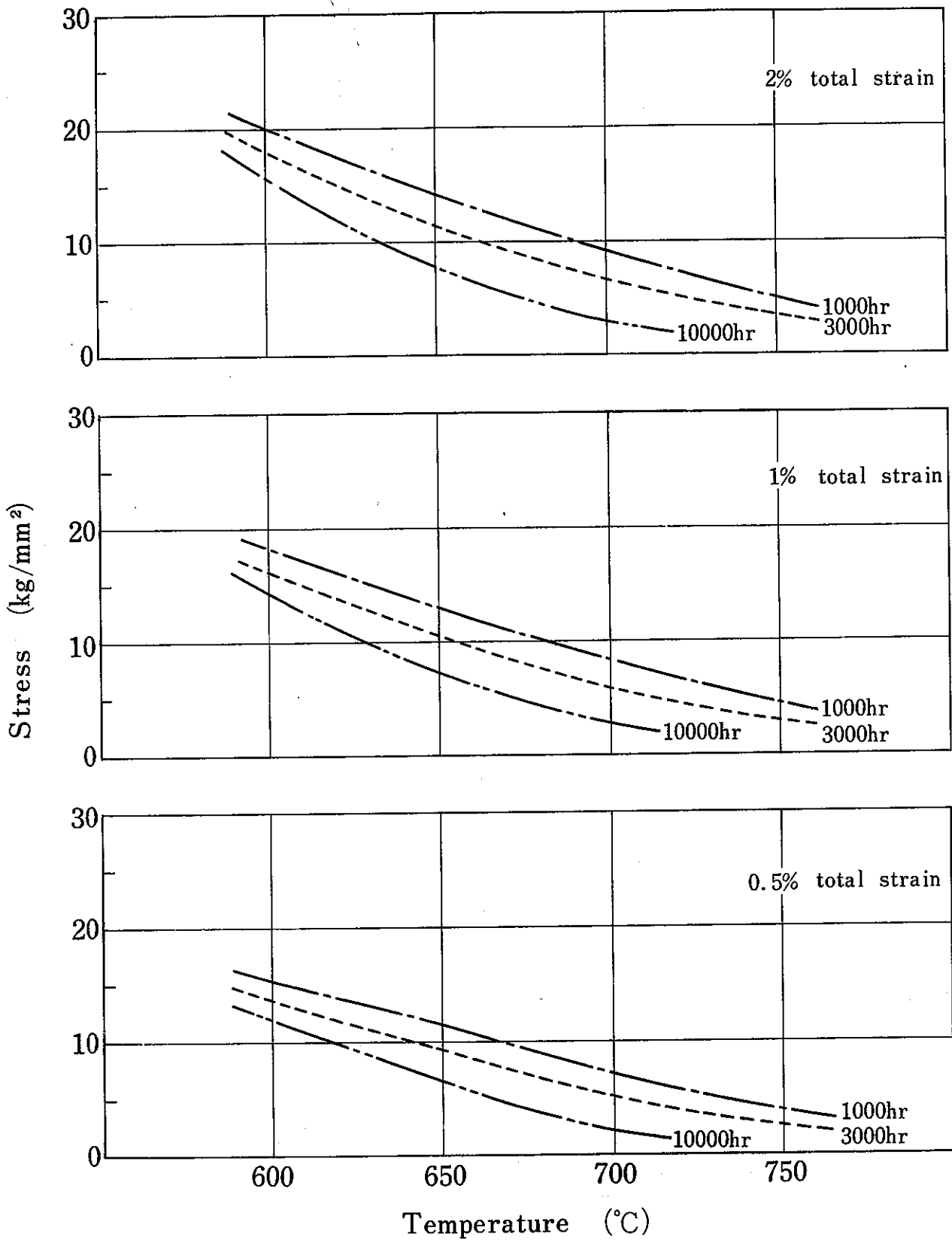


Fig.32 Relations of temperature versus stress at each time for total strain of 0.5%, 1% and 2% under uniaxial tension for Tube B.

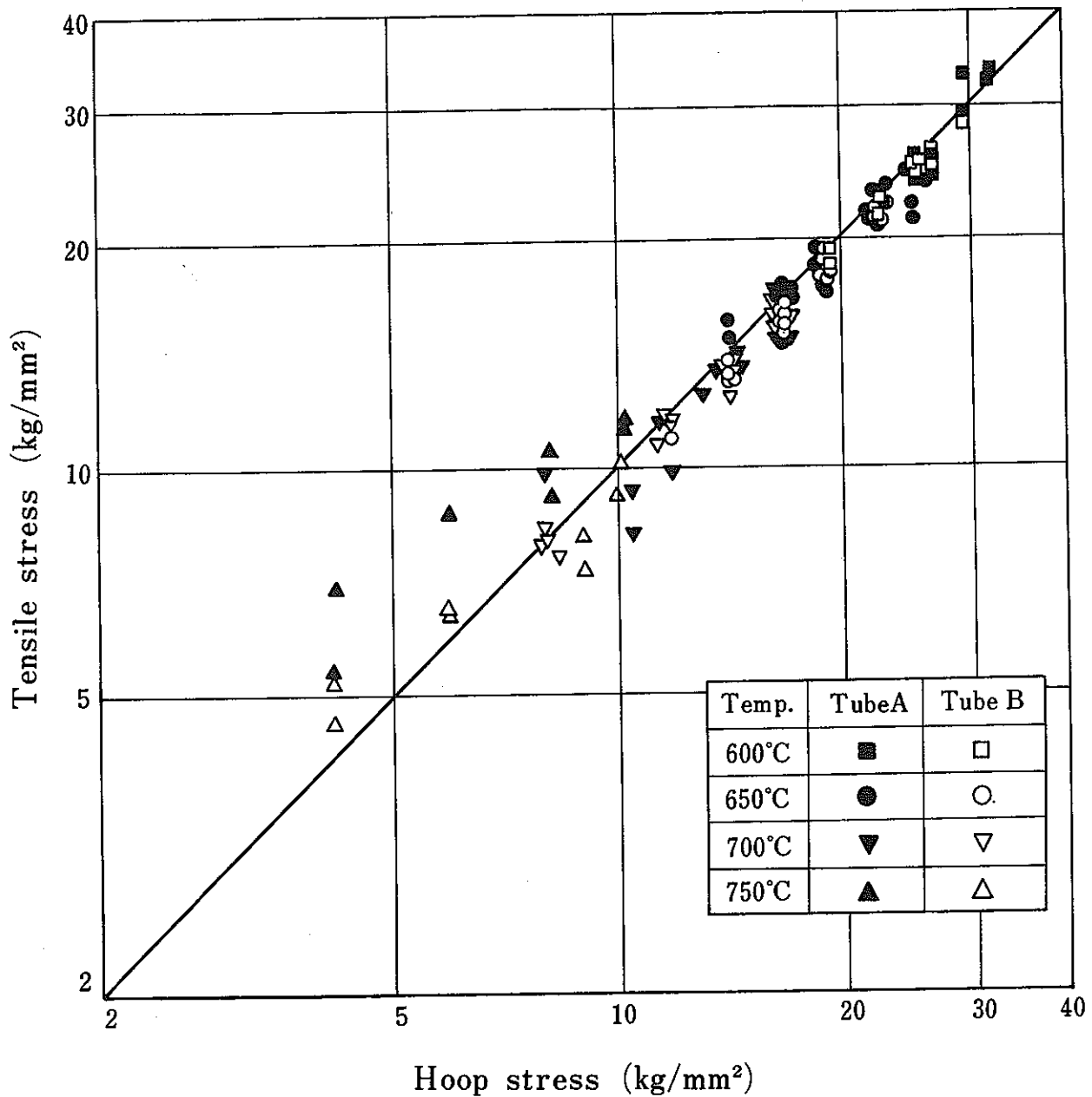


Fig. 33 Correlation between the tensile stress and hoop stress for the same rupture time and at the same temperature, which were obtained by the uniaxial tension tests and by the internal pressure tests, respectively. The hoop stresses were calculated by the mean diameter formula.

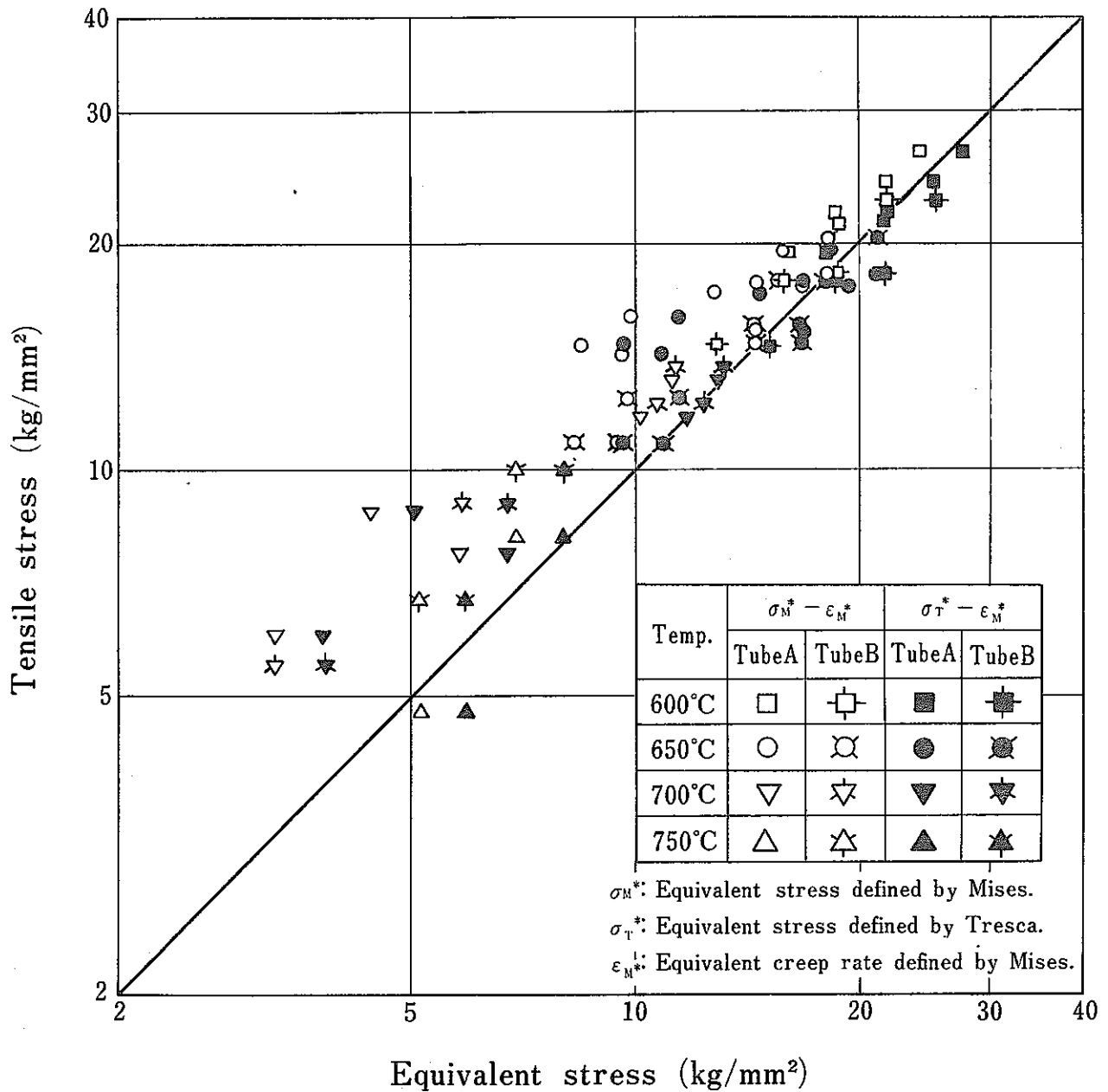


Fig. 34 Correlation between the tensile stress and the equivalent stress defined by Mises and Tresca, when the values of minimum creep rate obtained by the uniaxial tension tests are equal to the same values of equivalent creep rate (Mises) obtained by the internal pressure tests at the same temperature.

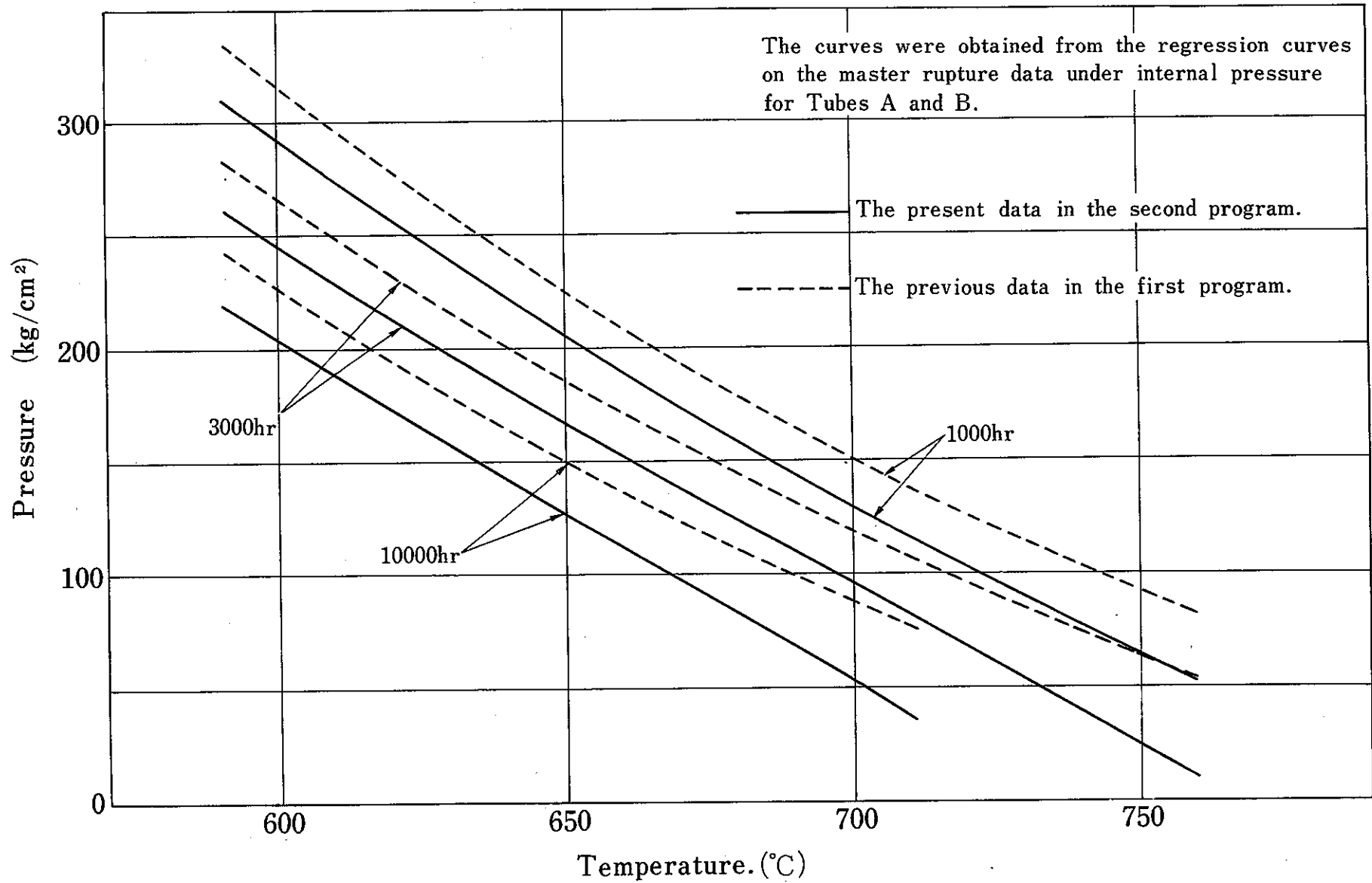


Fig. 35 Comparison of the present data and the previous data under internal pressure in the first program with regard to the rupture strength for 1000, 3000 and 10000 hr at each Temperature

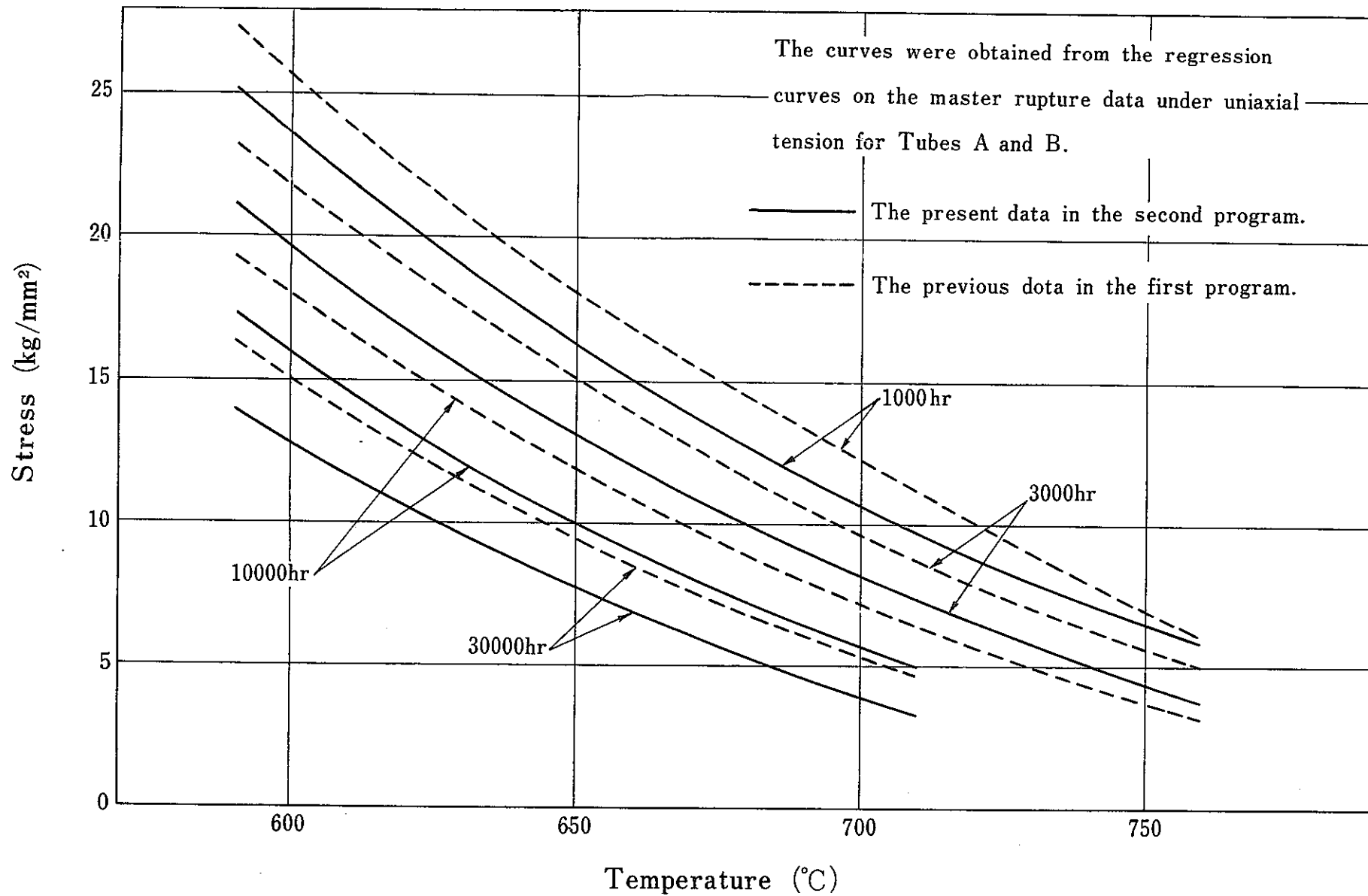


Fig. 36 Comparison of the present data and the previous data under uniaxial tension in the first program with regard to the rupture strength for 1000, 3000, 10000 and 30000hr at each temperature.



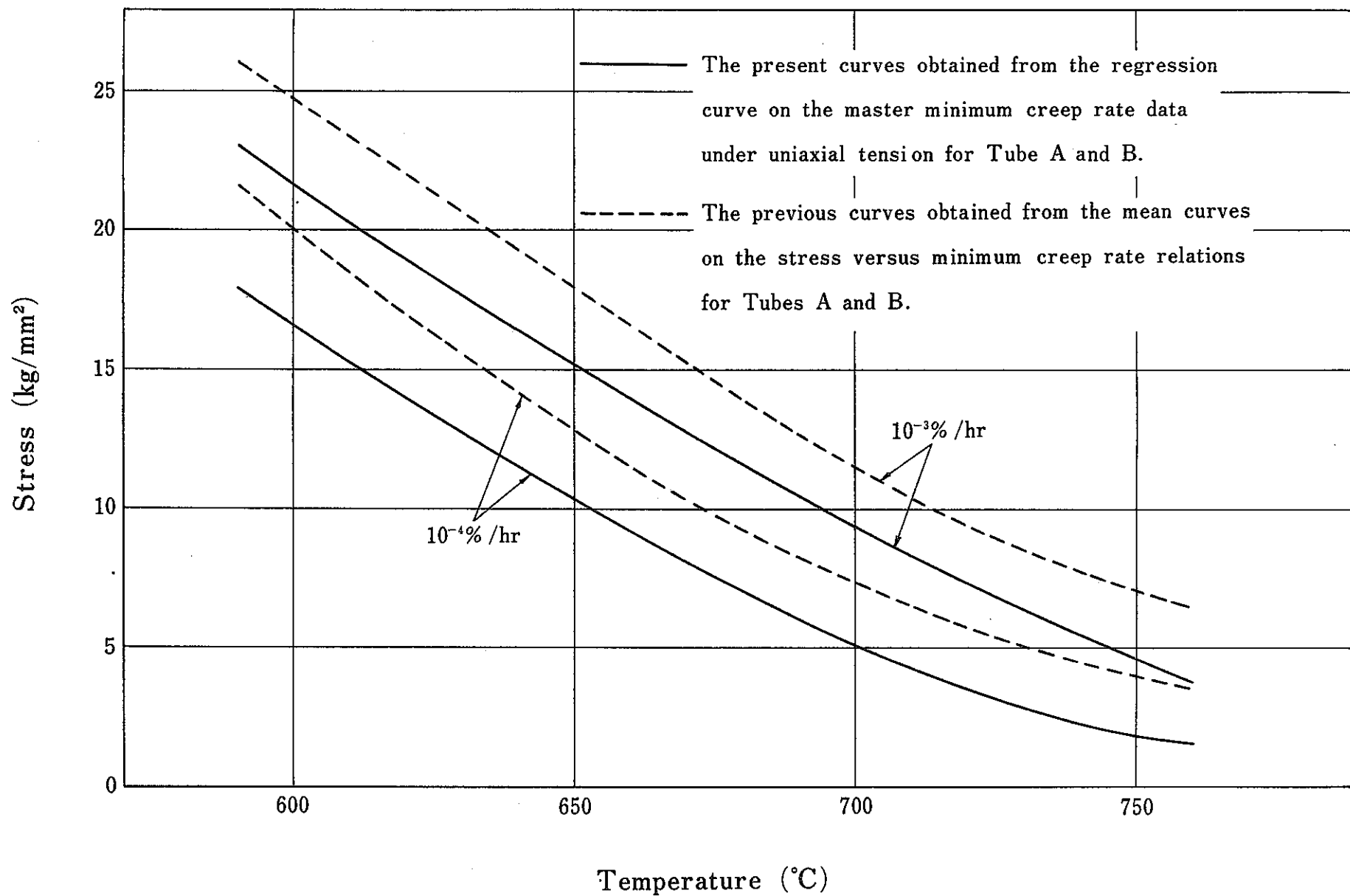


Fig. 37 Comparison of the present data and the previous data under uniaxial tension in the first program with regard to the creep strength at 10<sup>-3</sup> and 10<sup>-4</sup>%/hr at each Temperature.

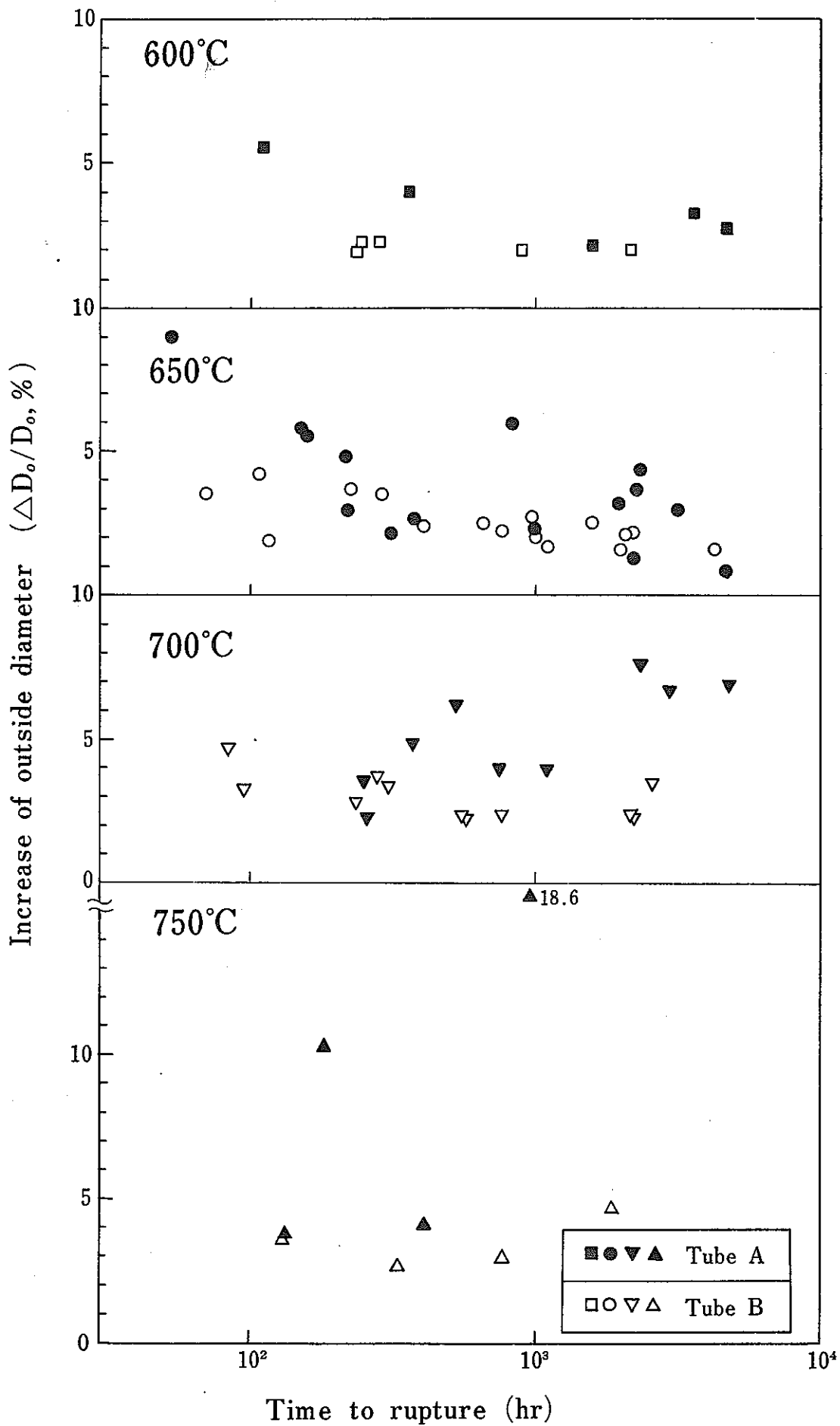


Fig. 38 Increase of outside diameter of specimens ruptured under internal pressure versus time to rupture.

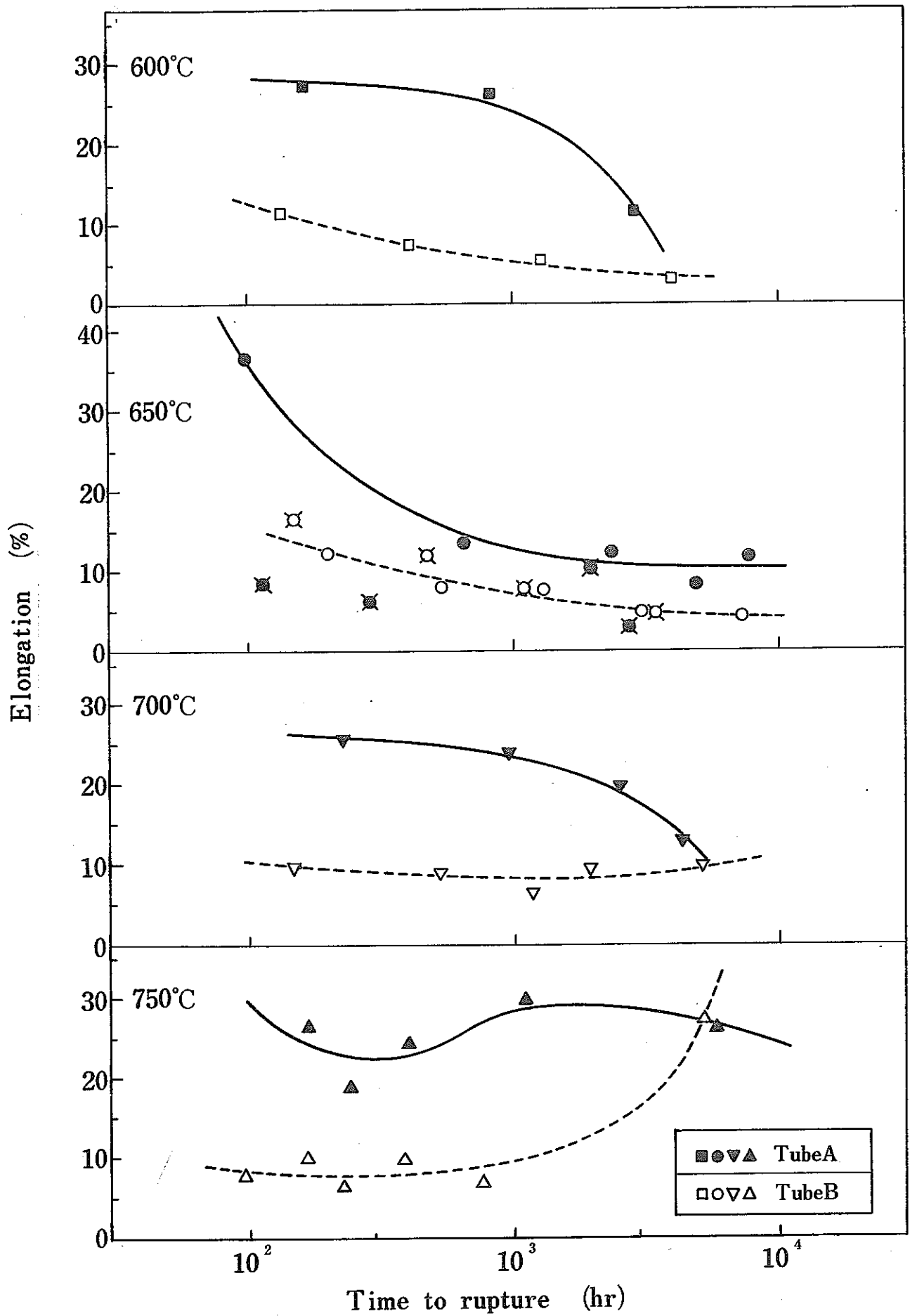


Fig. 39 Elongation of specimens ruptured under uniaxial tension versus time to rupture.

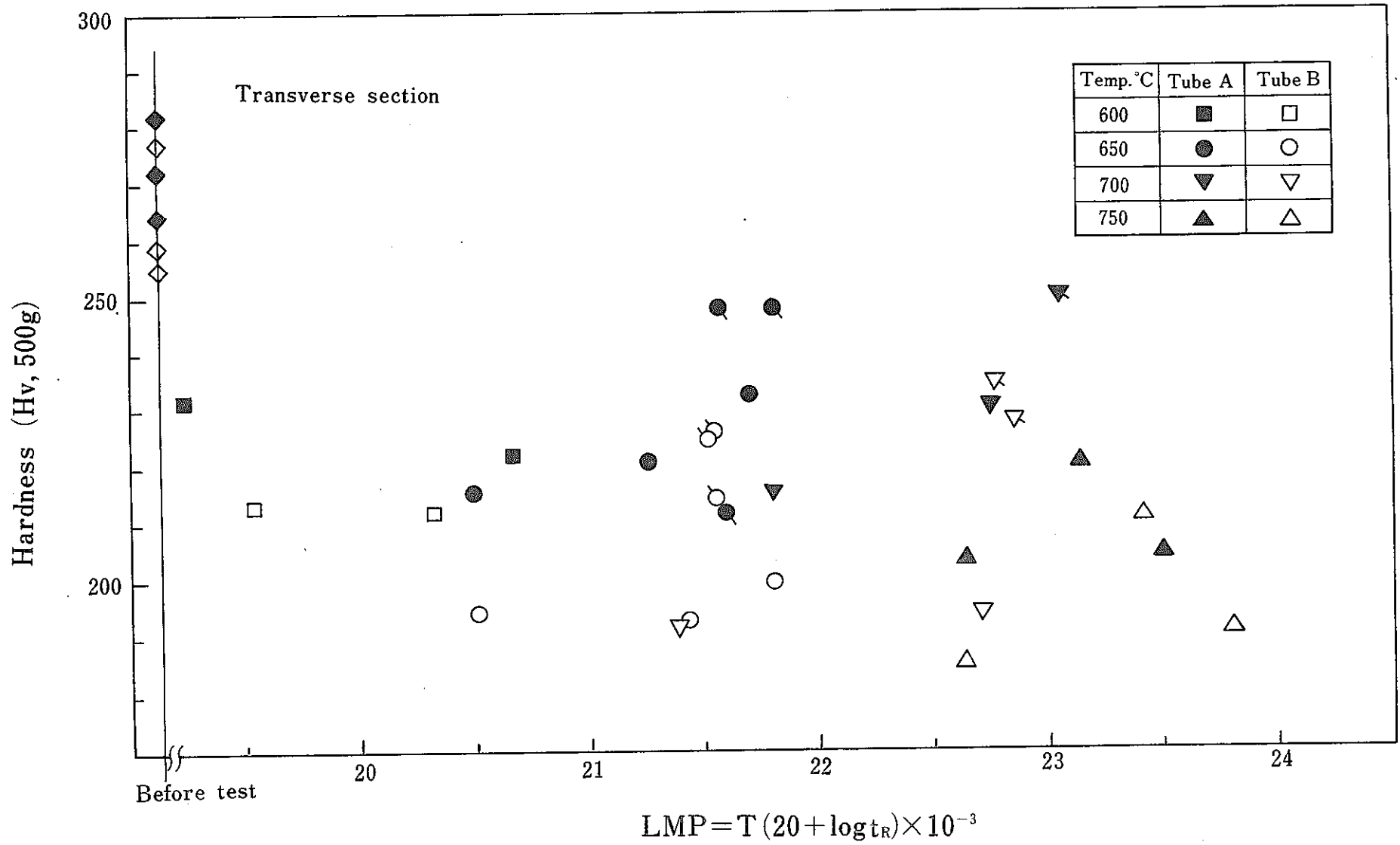


Fig. 40 Hardness of specimens ruptured under internal pressure versus Larson-Miller parameter.

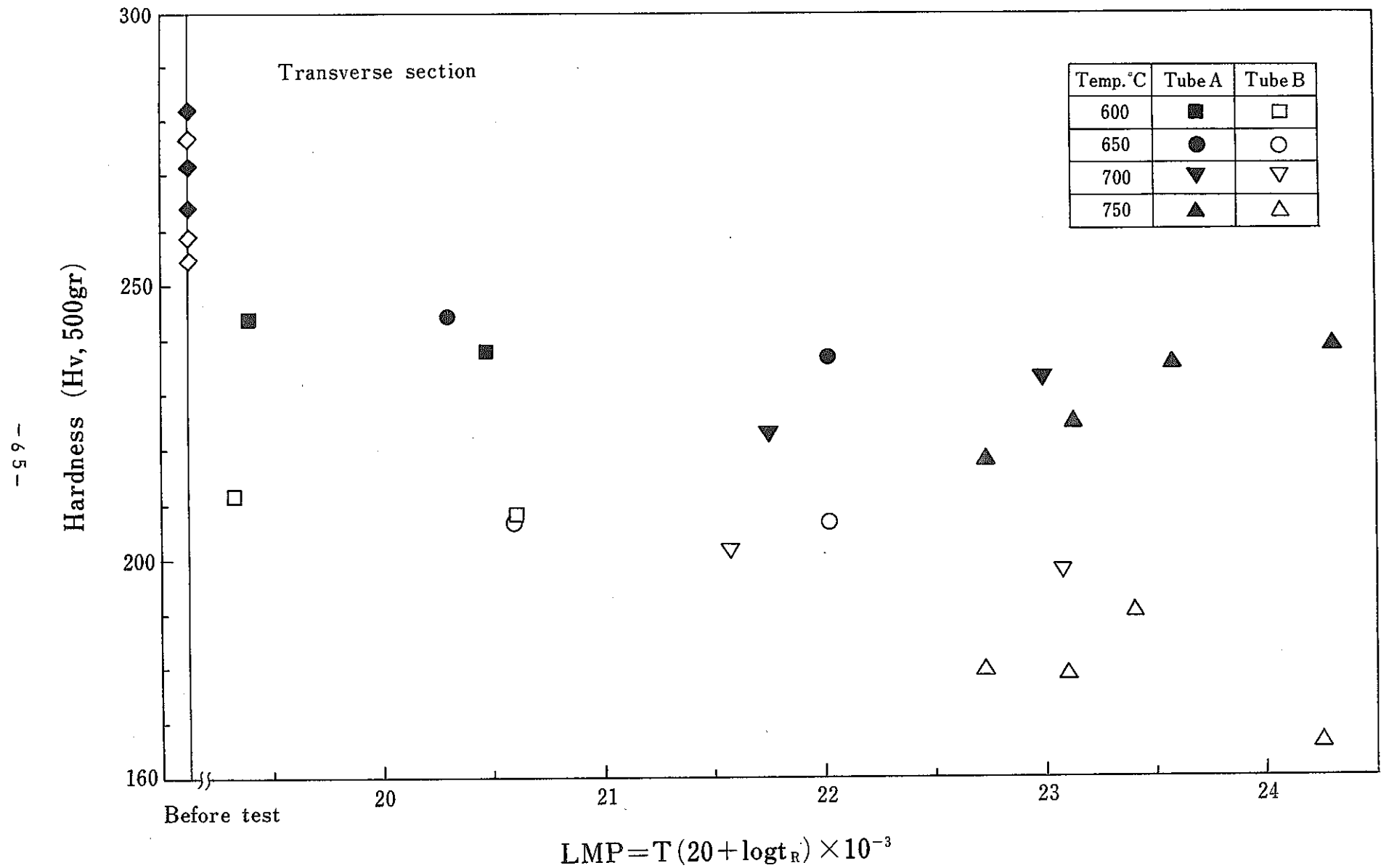


Fig. 41 Hardness of specimens ruptured under uniaxial tension versus Larson-Miller parameter.

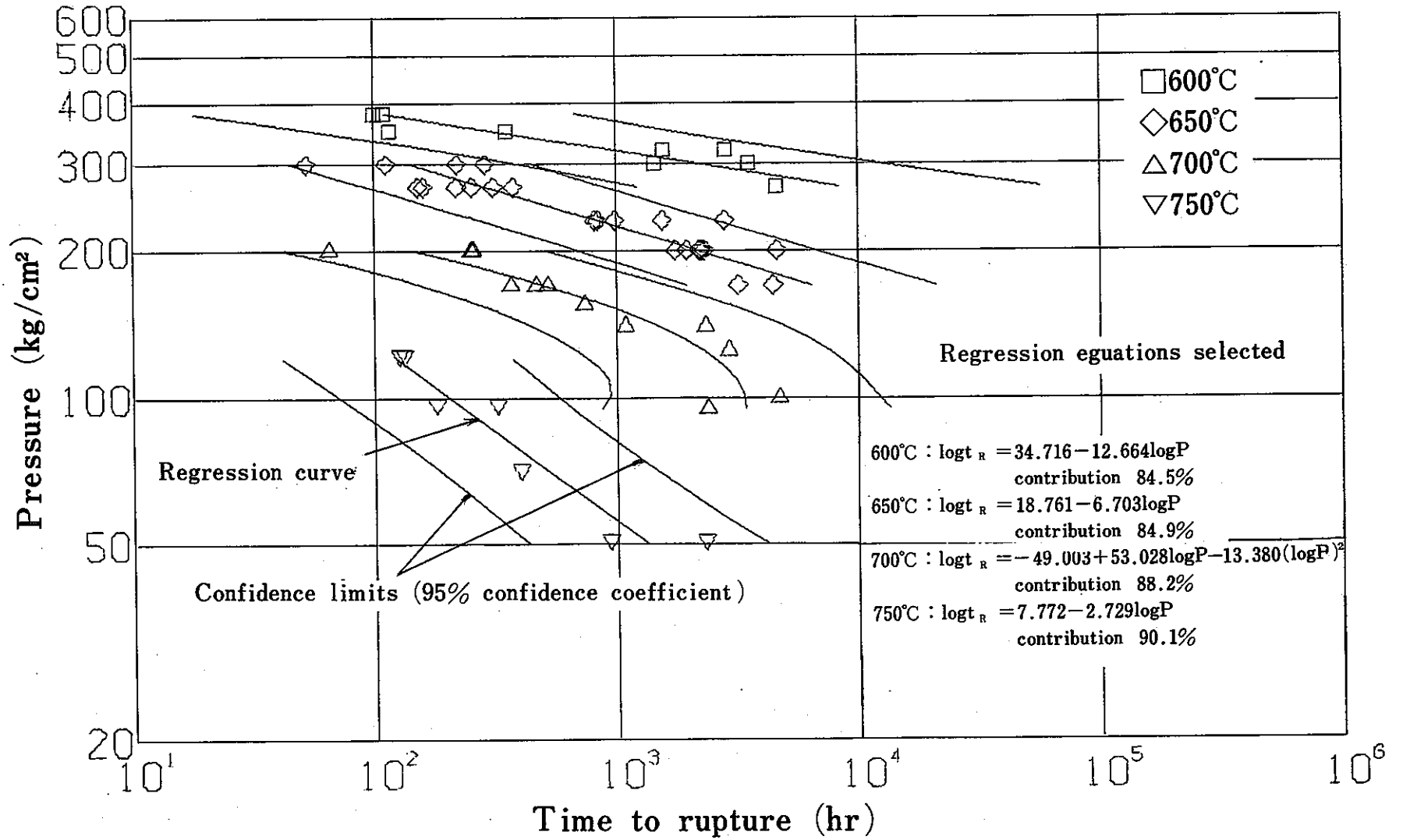


Fig.42 Regression curves and confidence intervals on creep rupture data under internal pressure for Tube A.

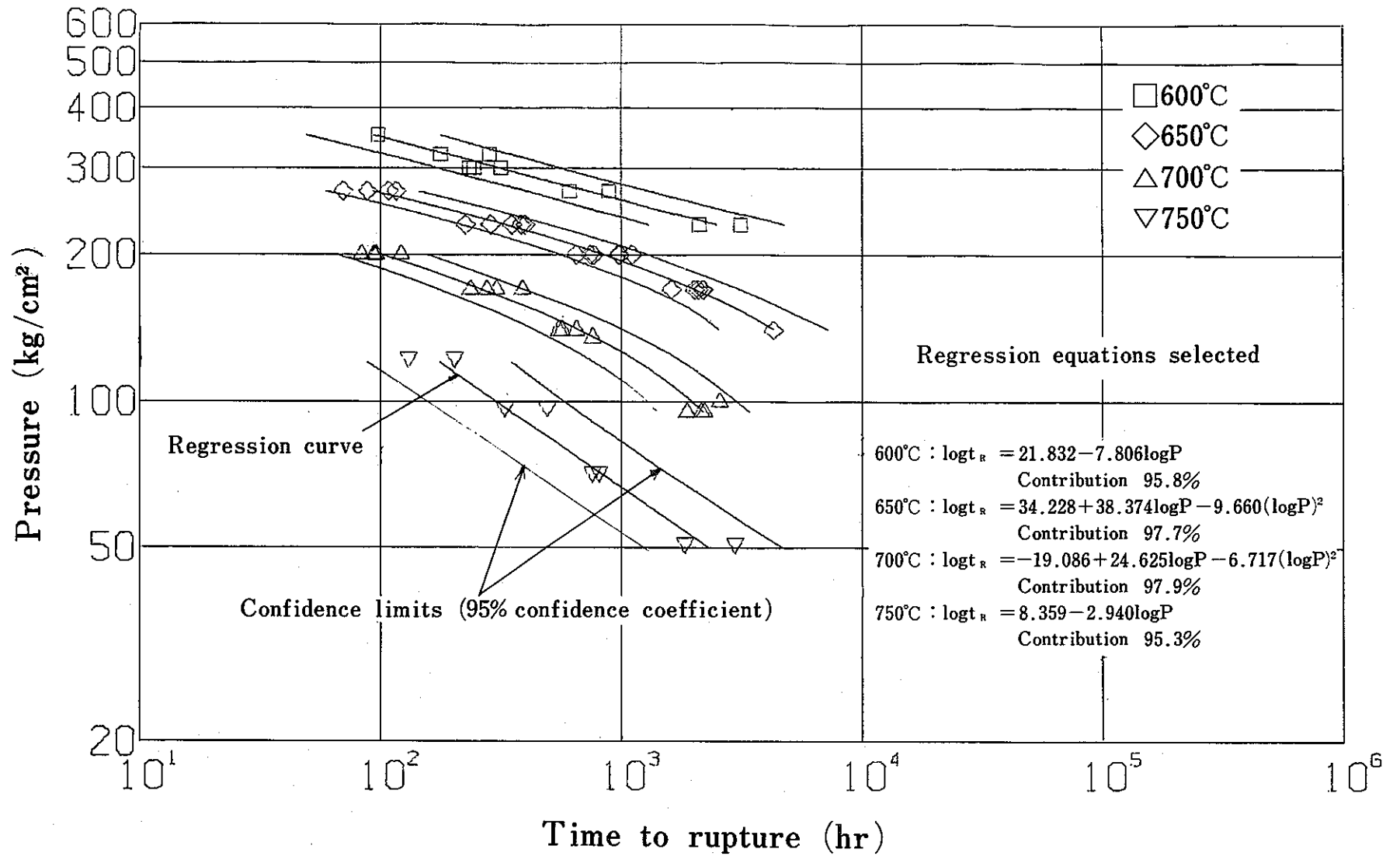


Fig.43 Regression curves and confidence intervals on creep rupture data under internal pressure for Tube B.

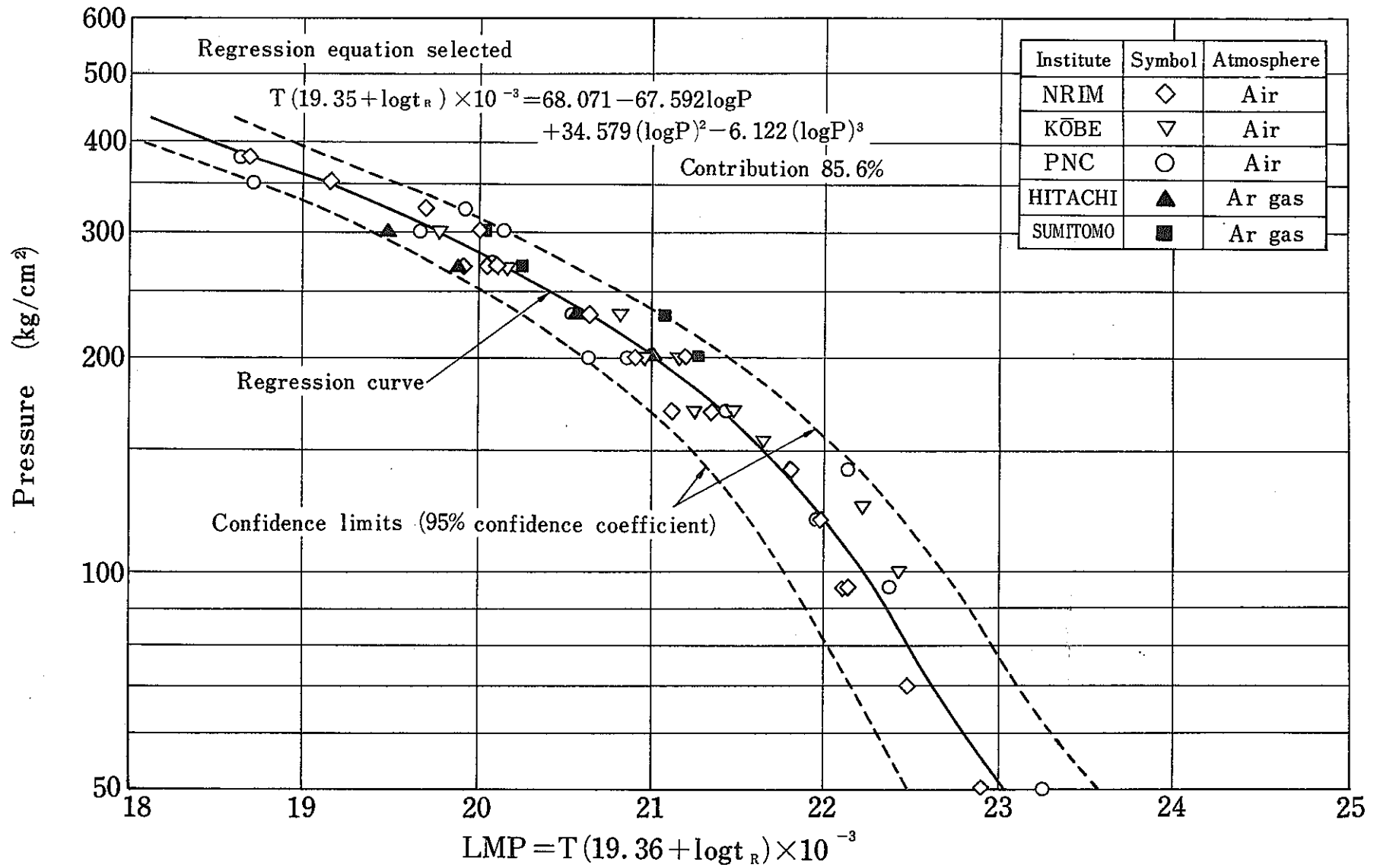


Fig. 44 Regression curve and confidence interval on master rupture data under internal pressure for Tube A.



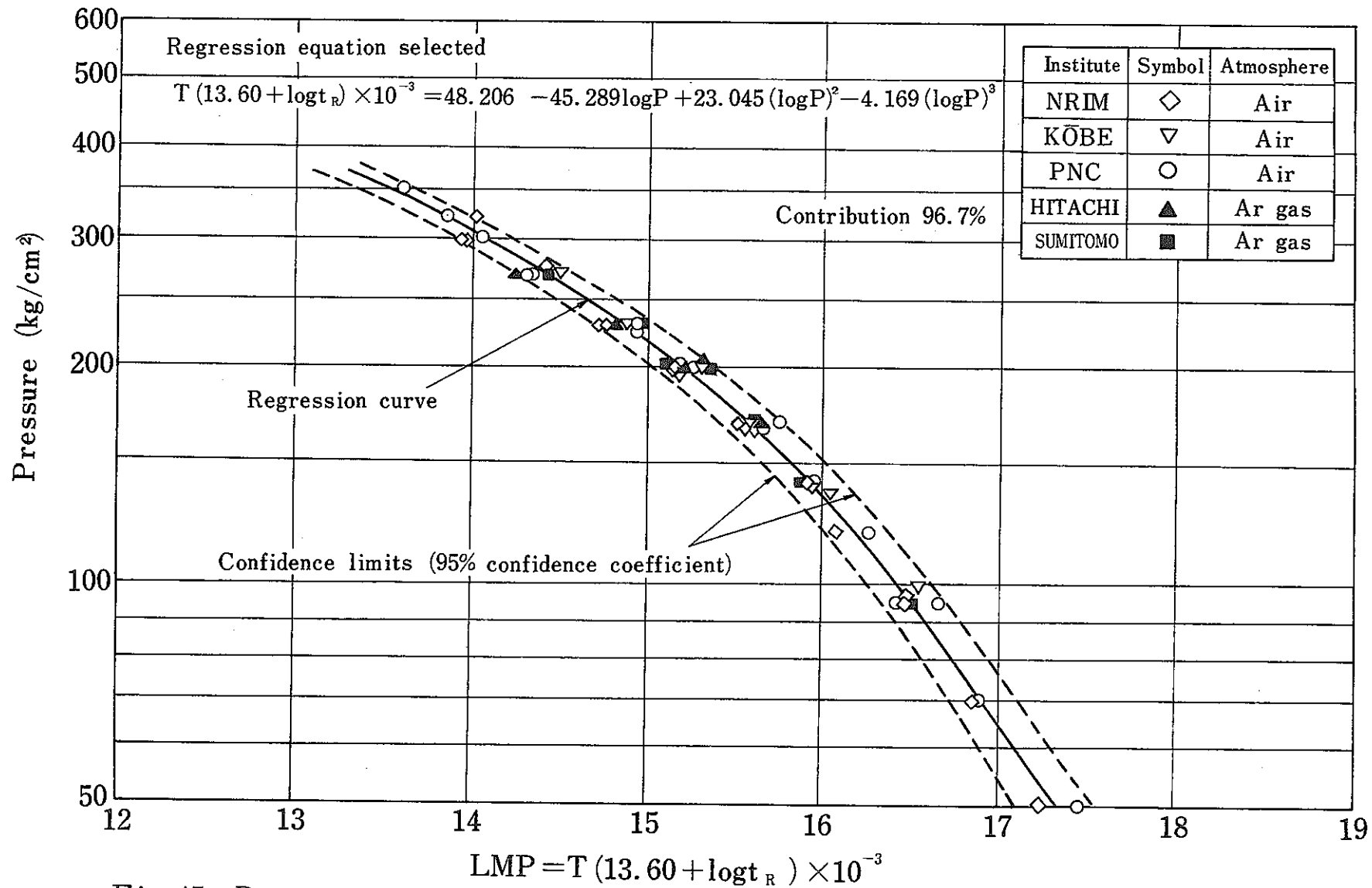


Fig. 45 Regression curve and confidence interval on master rupture data under internal pressure for Tube B.

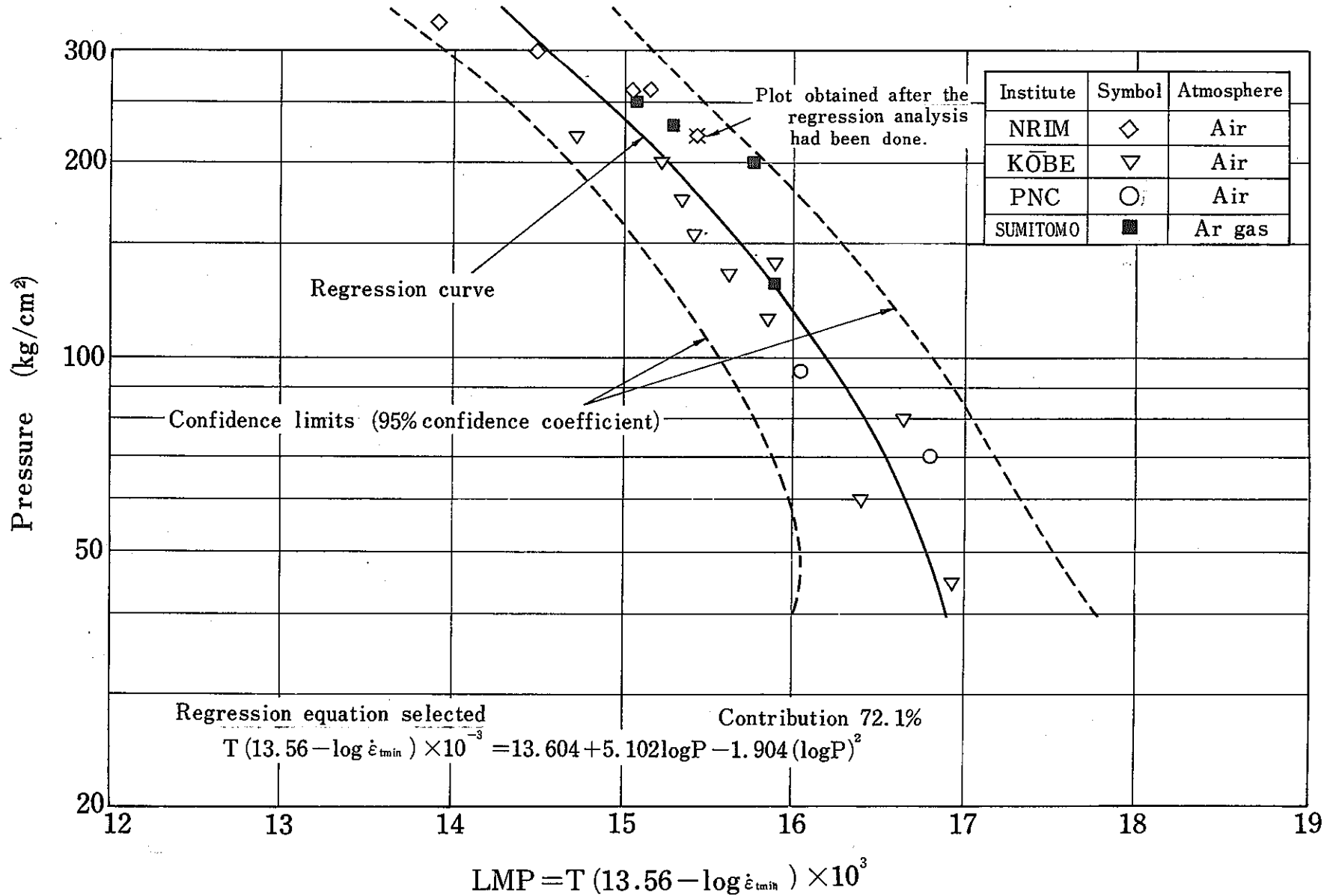


Fig.46 Regression curve and confidence interval on master creep data under internal pressure for Tube A.

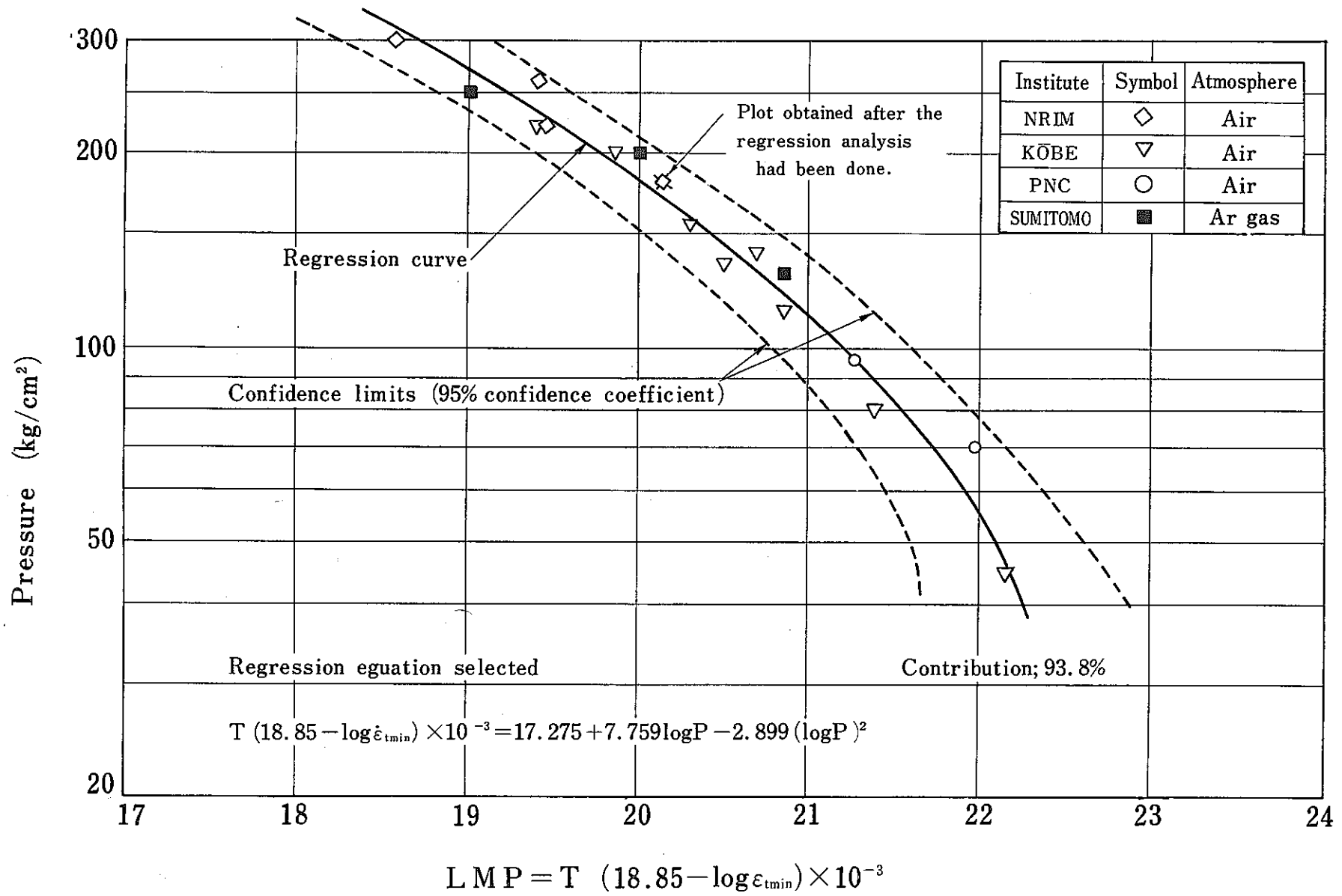


Fig. 47 Regression curve and confidence interval on master creep data under internal pressure for Tube B.

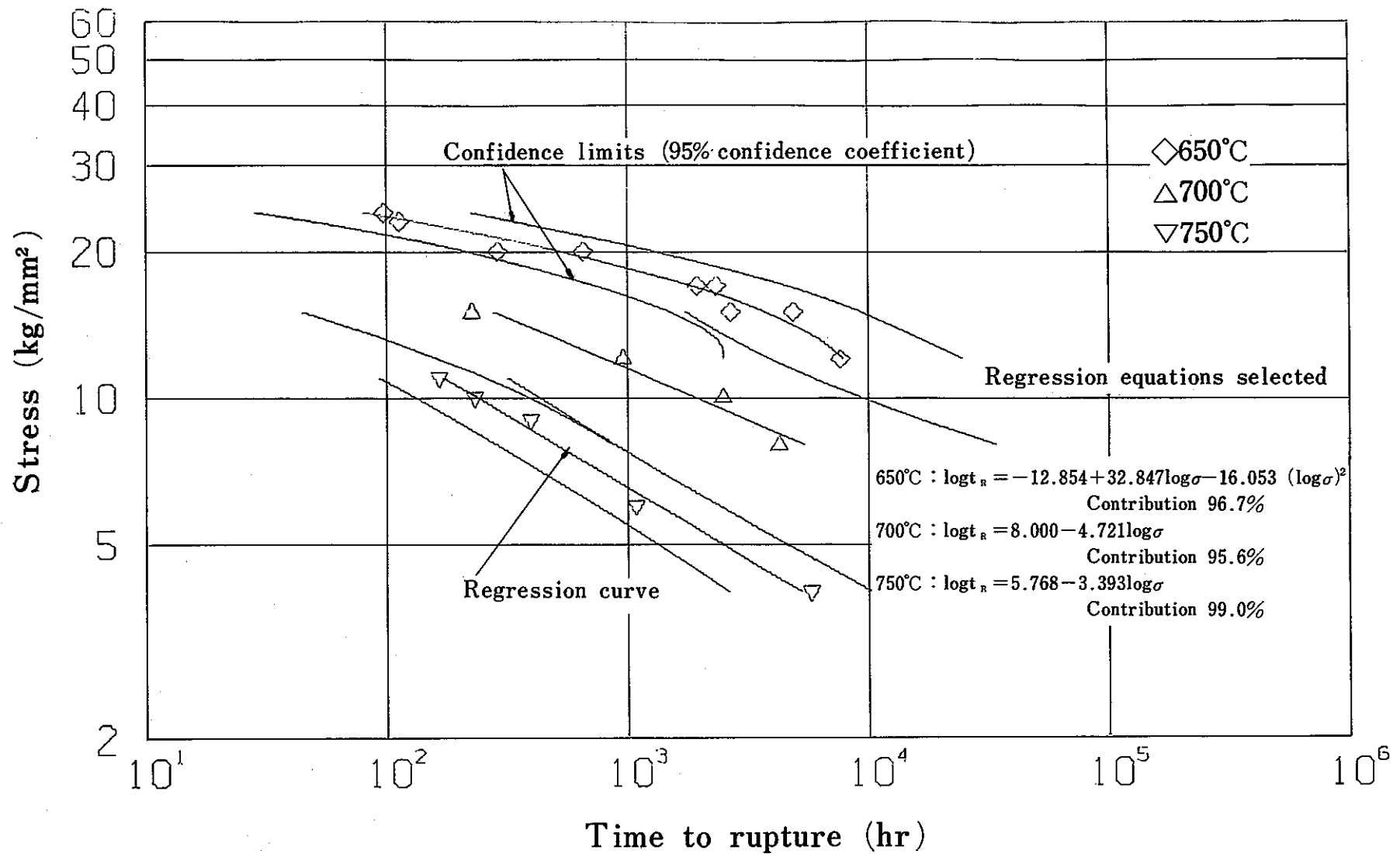


Fig.48 Regression curves and confidence intervals on creep rupture data under uniaxial tension for Tube A.

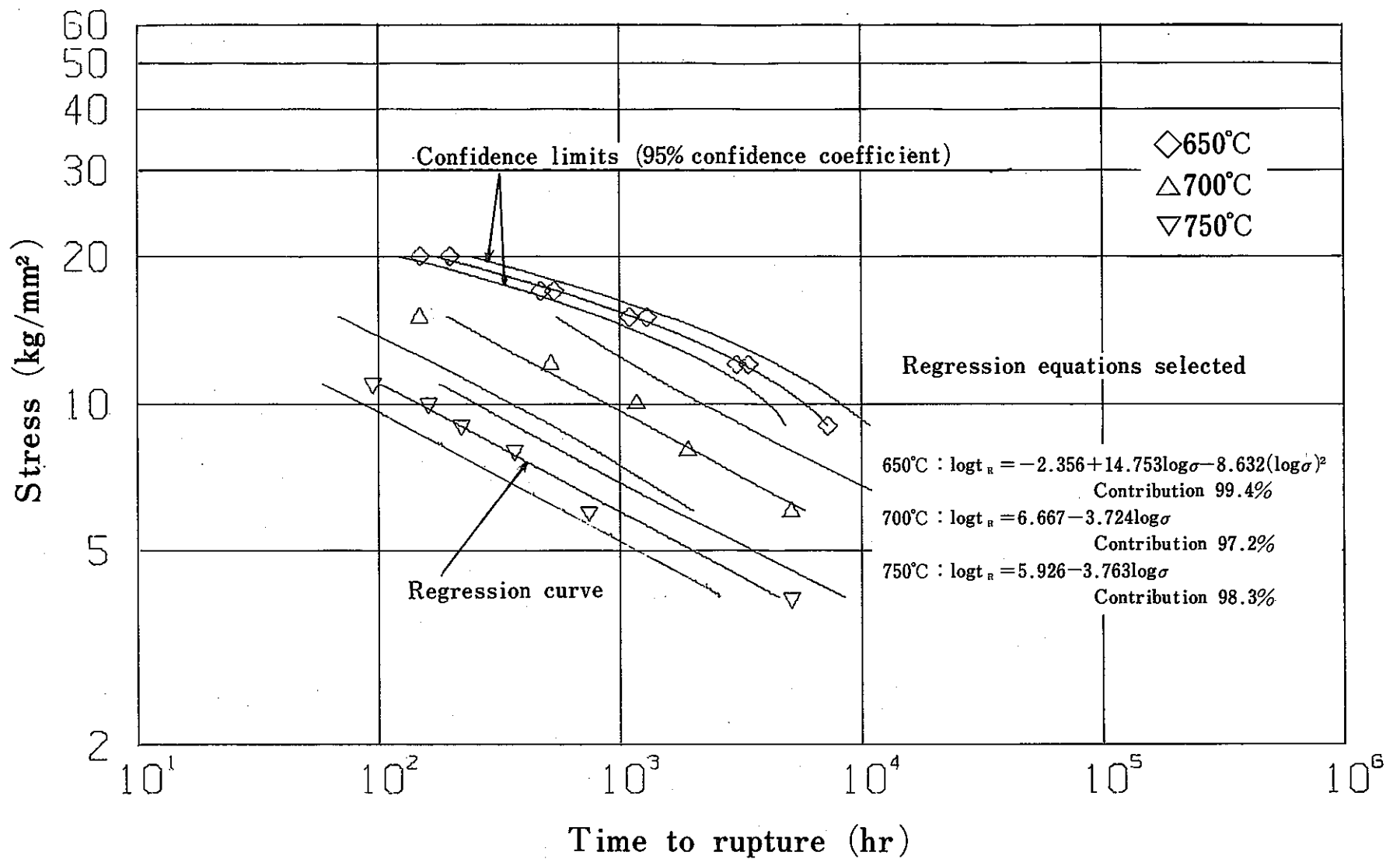


Fig.49 Regression curves and confidence intervals on creep rupture data under uniaxial tension for Tube B.

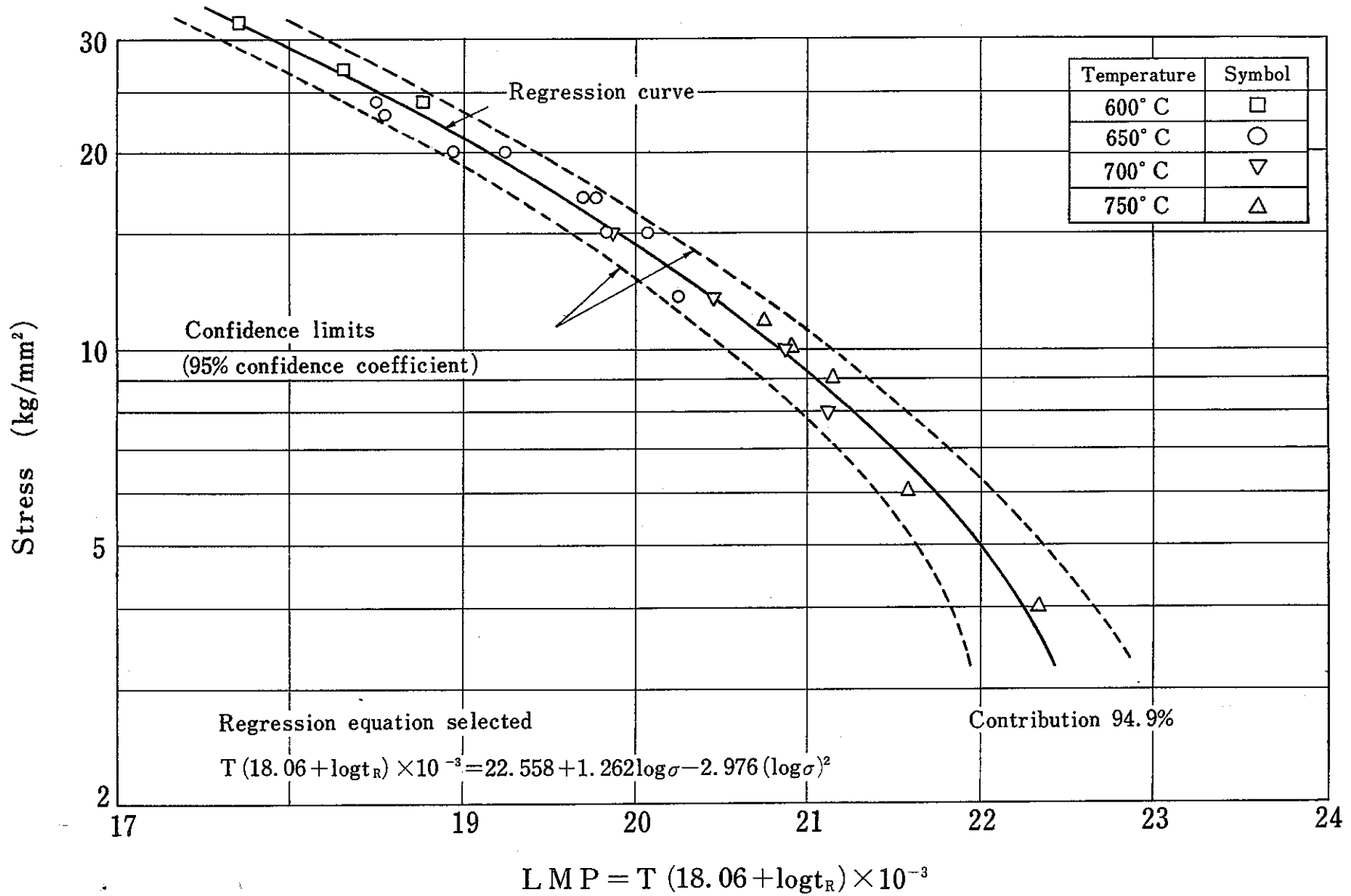


Fig. 50 Regression curve and confidence interval on master rupture data under uniaxial tension for Tube A.

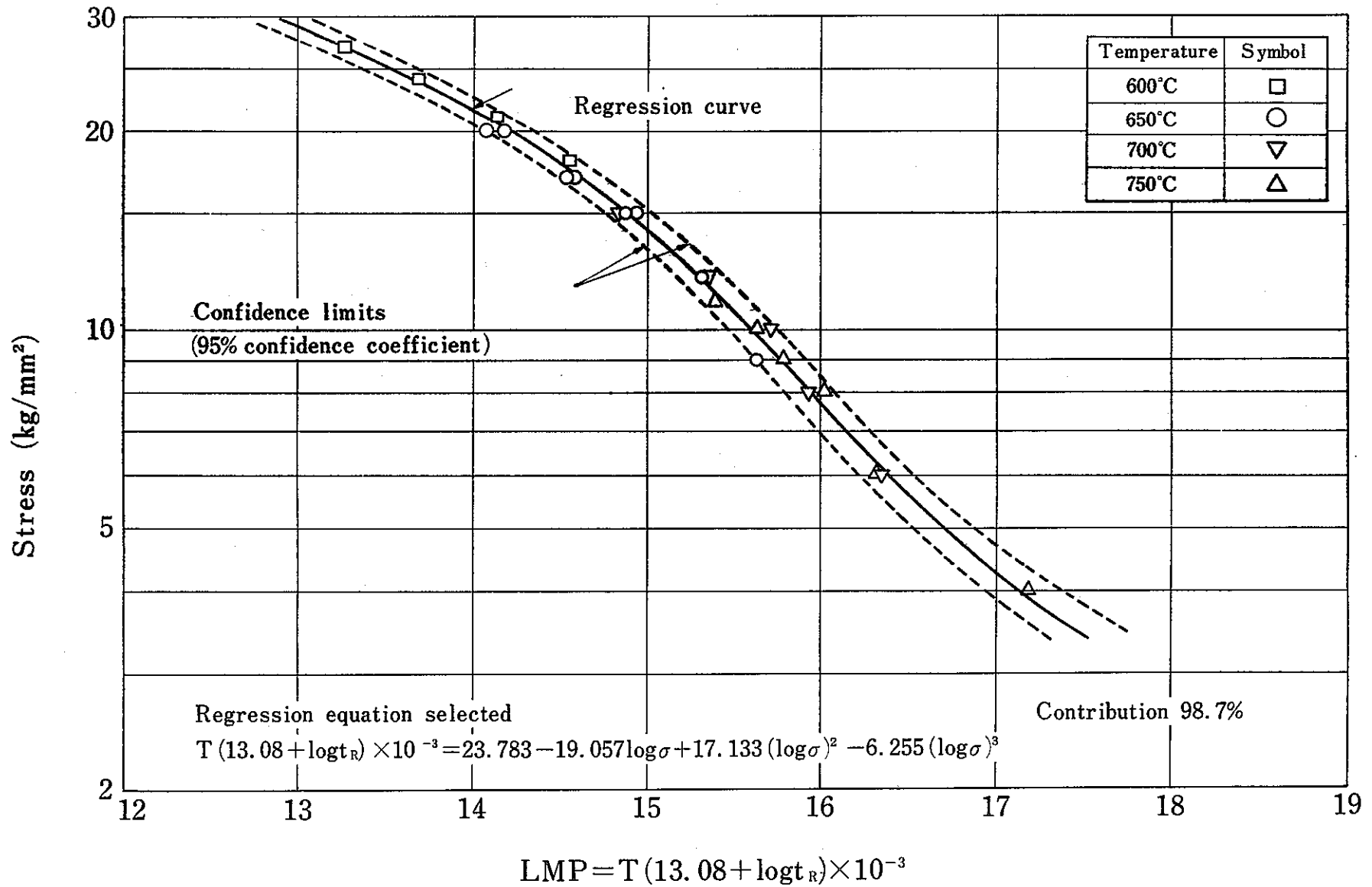


Fig. 51 Regression curve and confidence interval on master rupture data under uniaxial tension for Tube B.

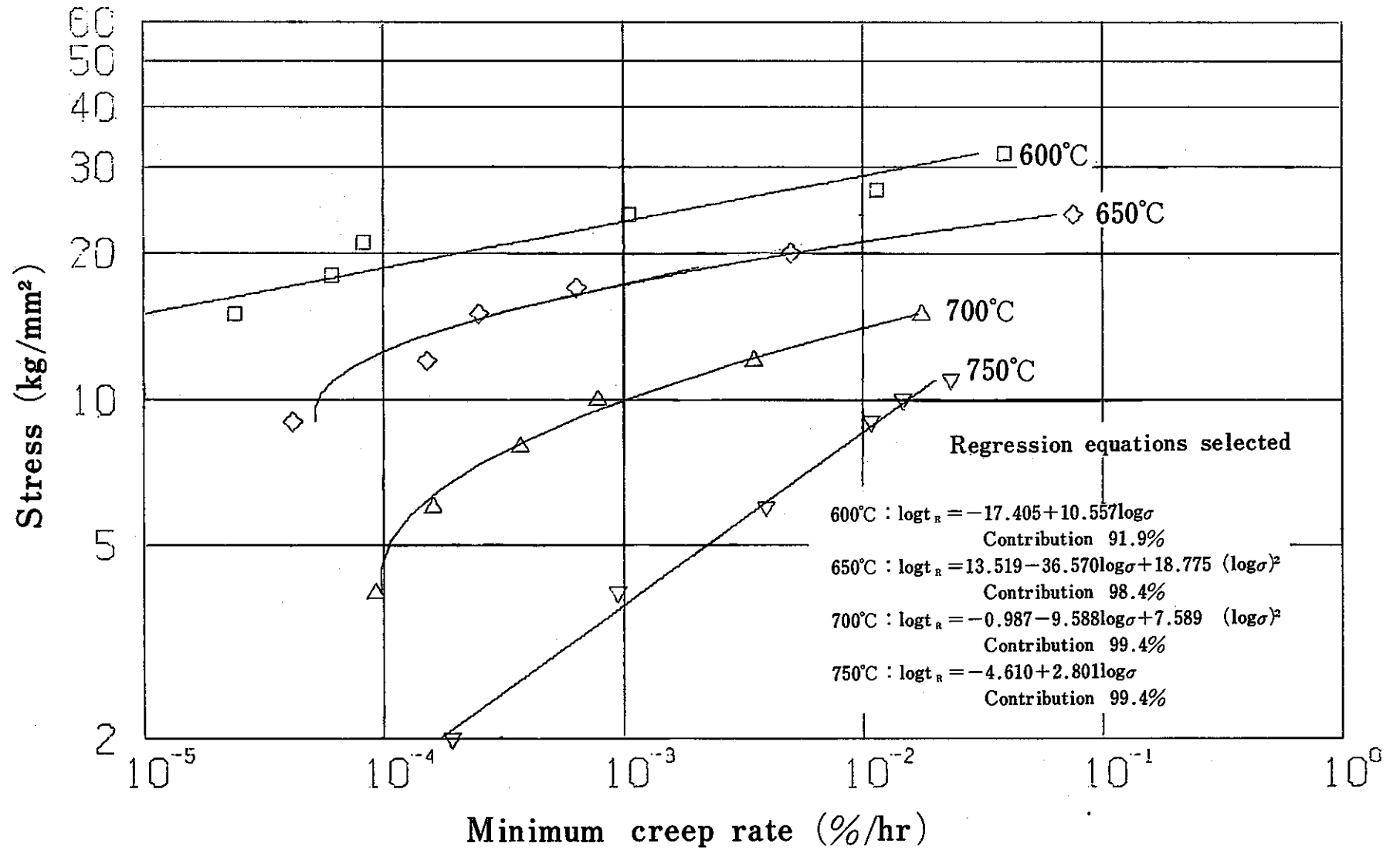


Fig. 52. Regression curves on minimum creep rate data under uniaxial tension for Tube A.



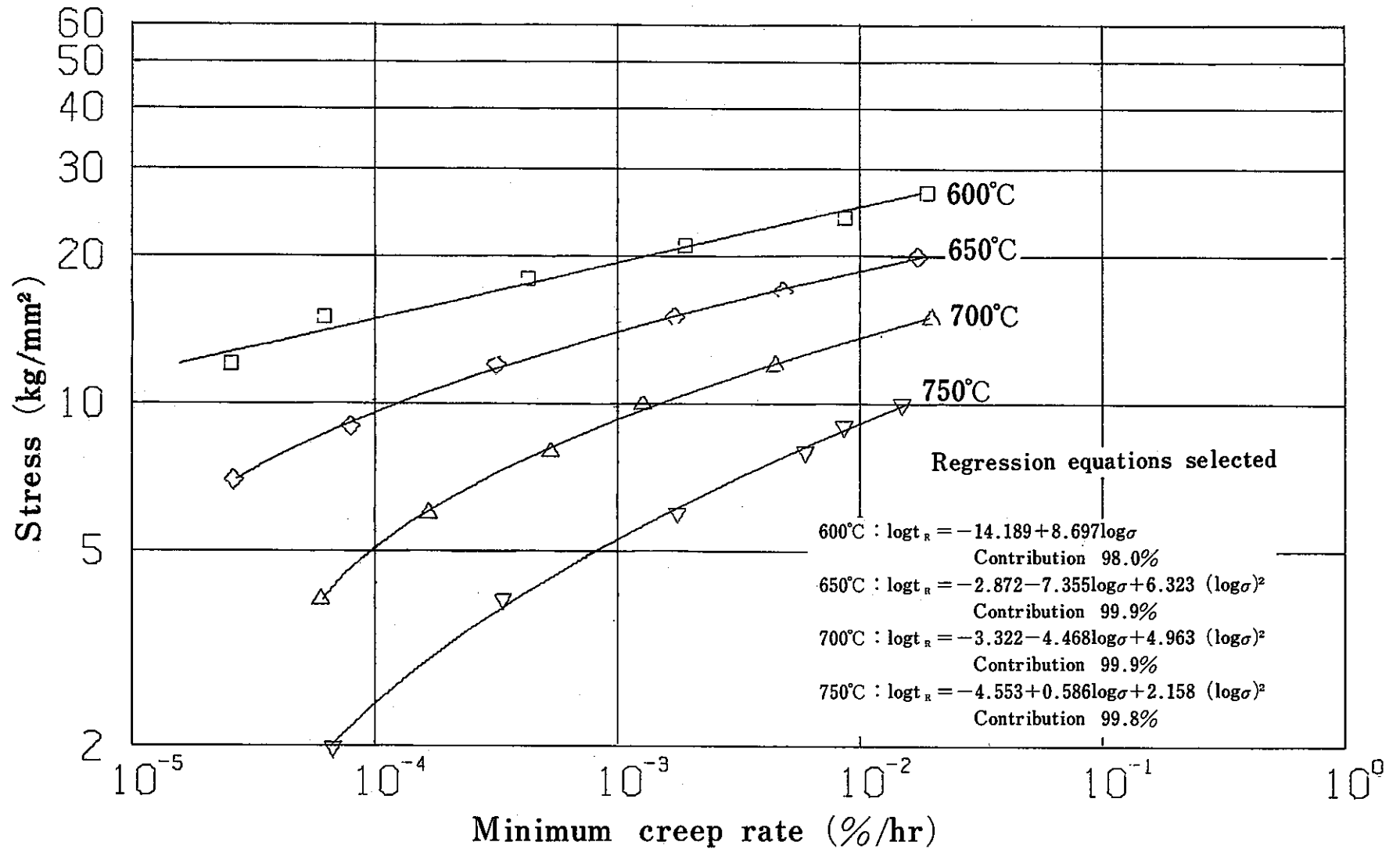


Fig.53 Regression curves on minimum creep rate data under uniaxial tension for Tube B.

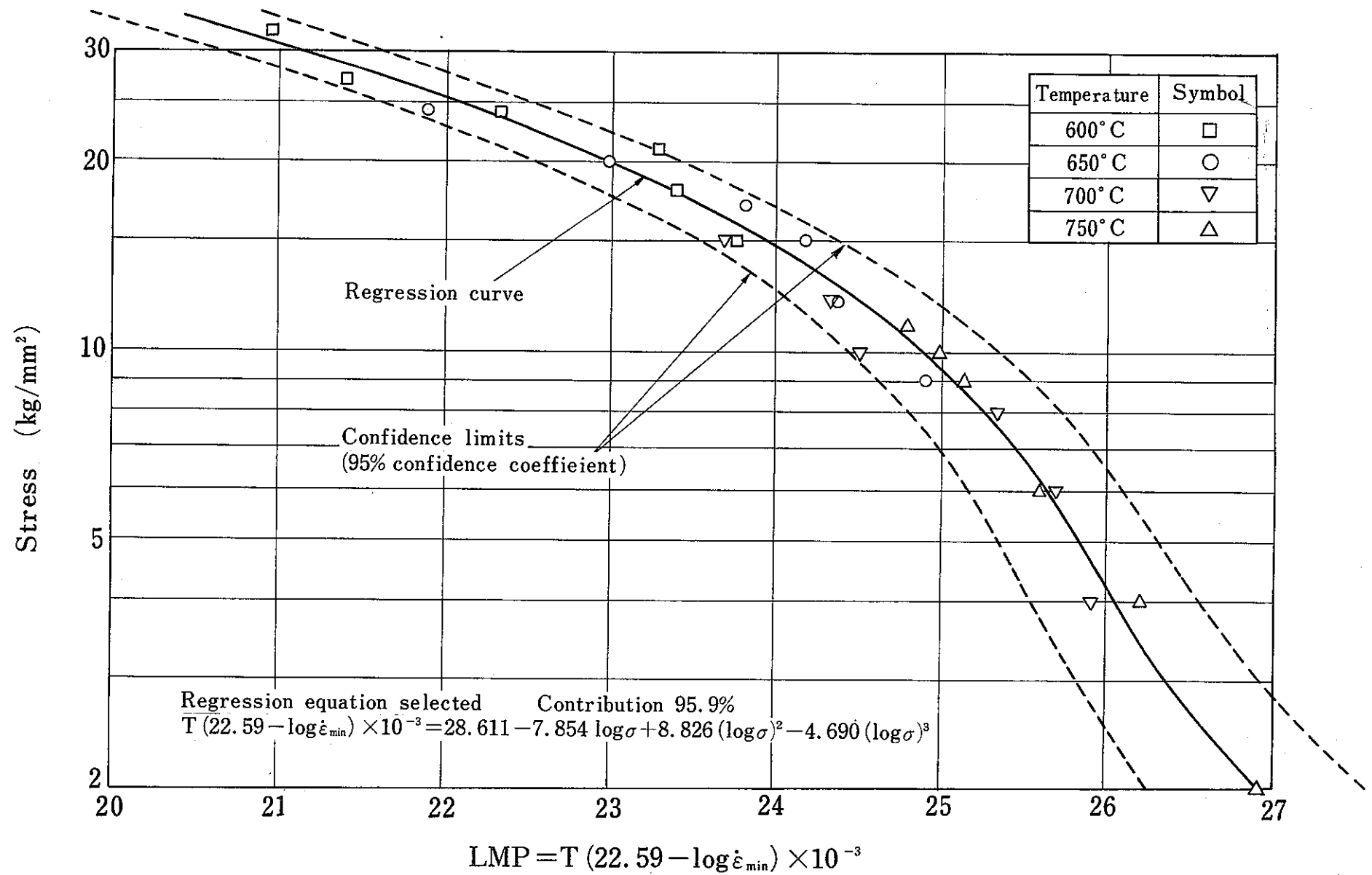


Fig. 54 Regression curve and confidence interval on master creep data under uniaxial tension for Tube A.

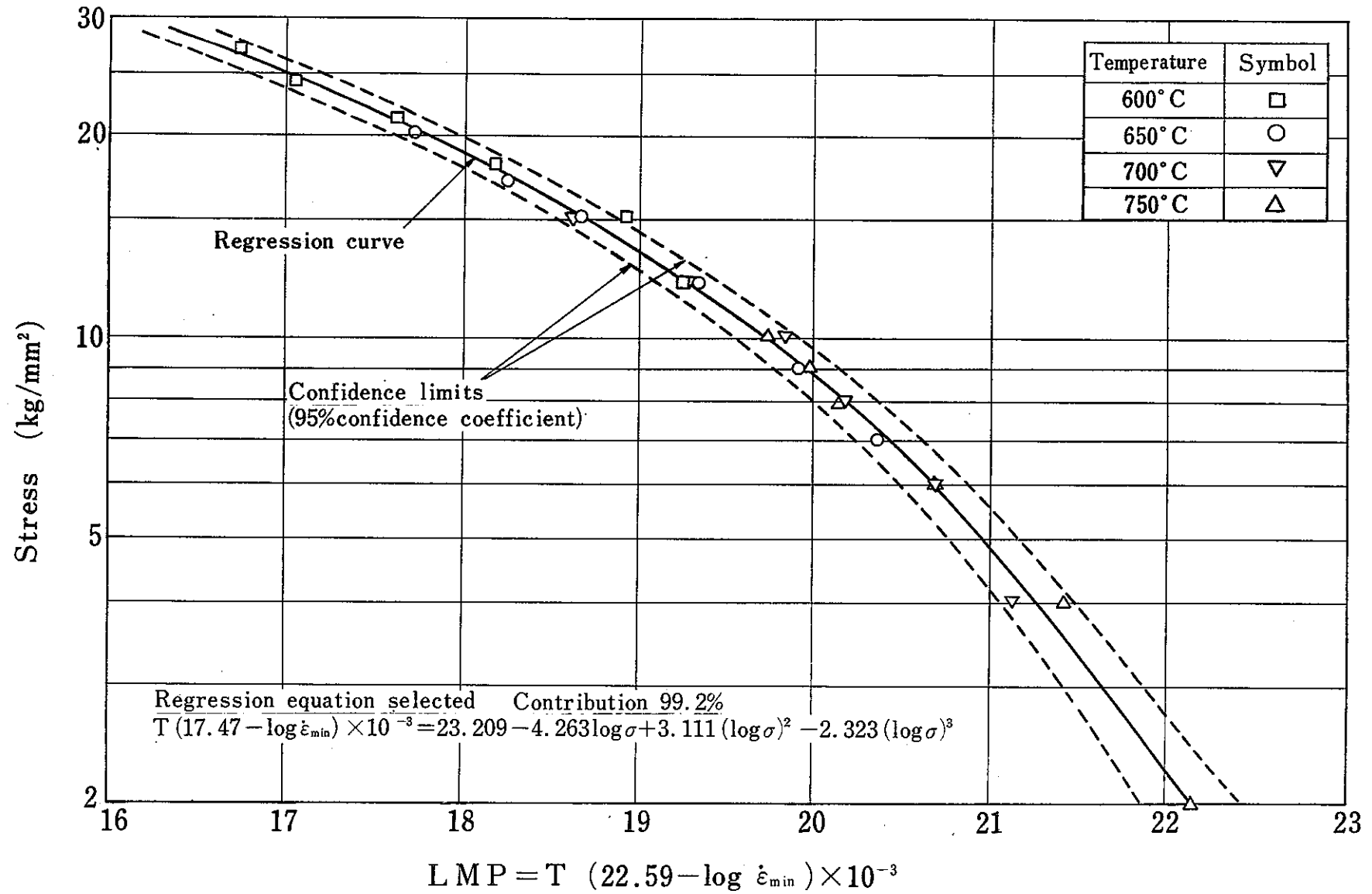


Fig. 55 Regression curve and confidence interval on master creep data under uniaxial tension for Tube B.

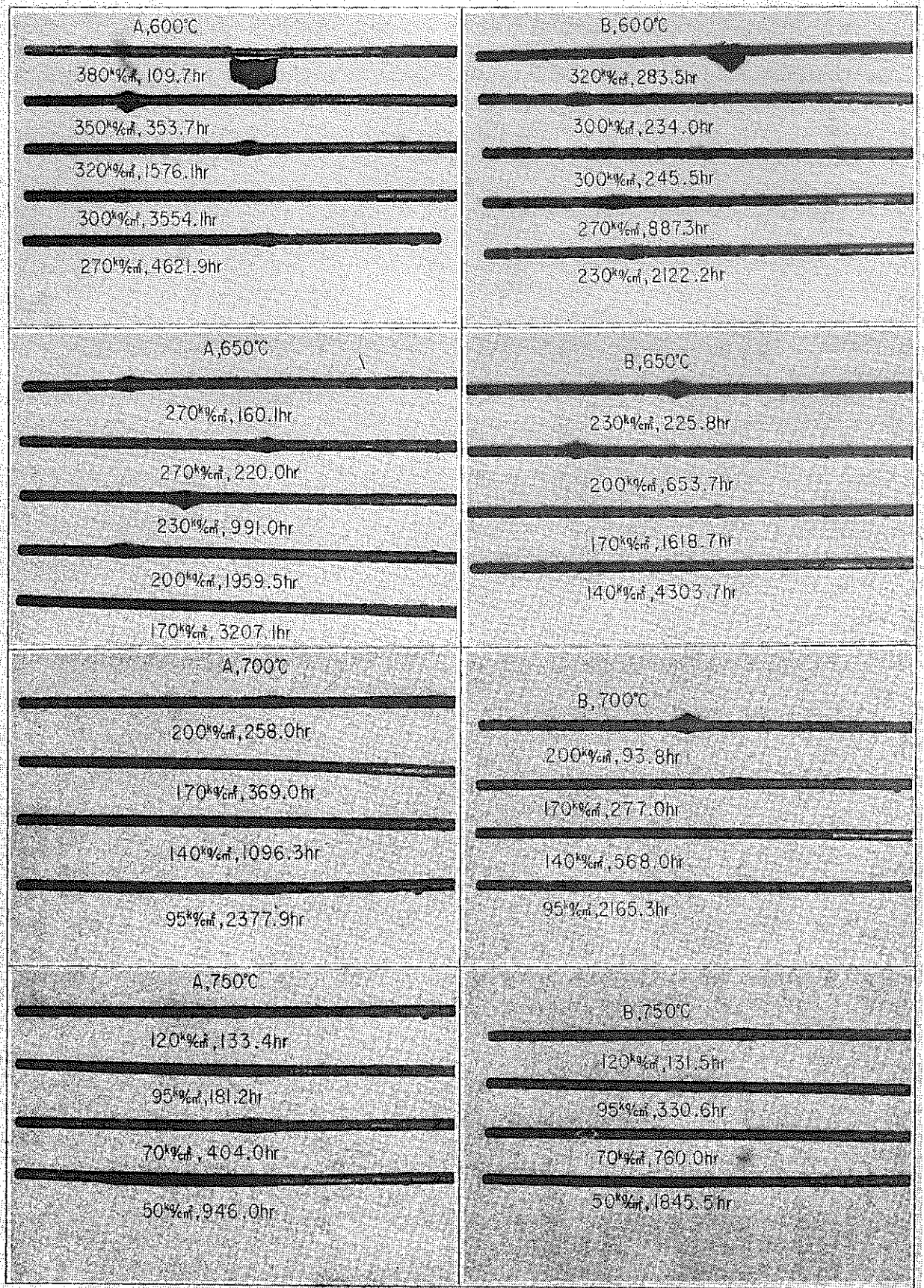
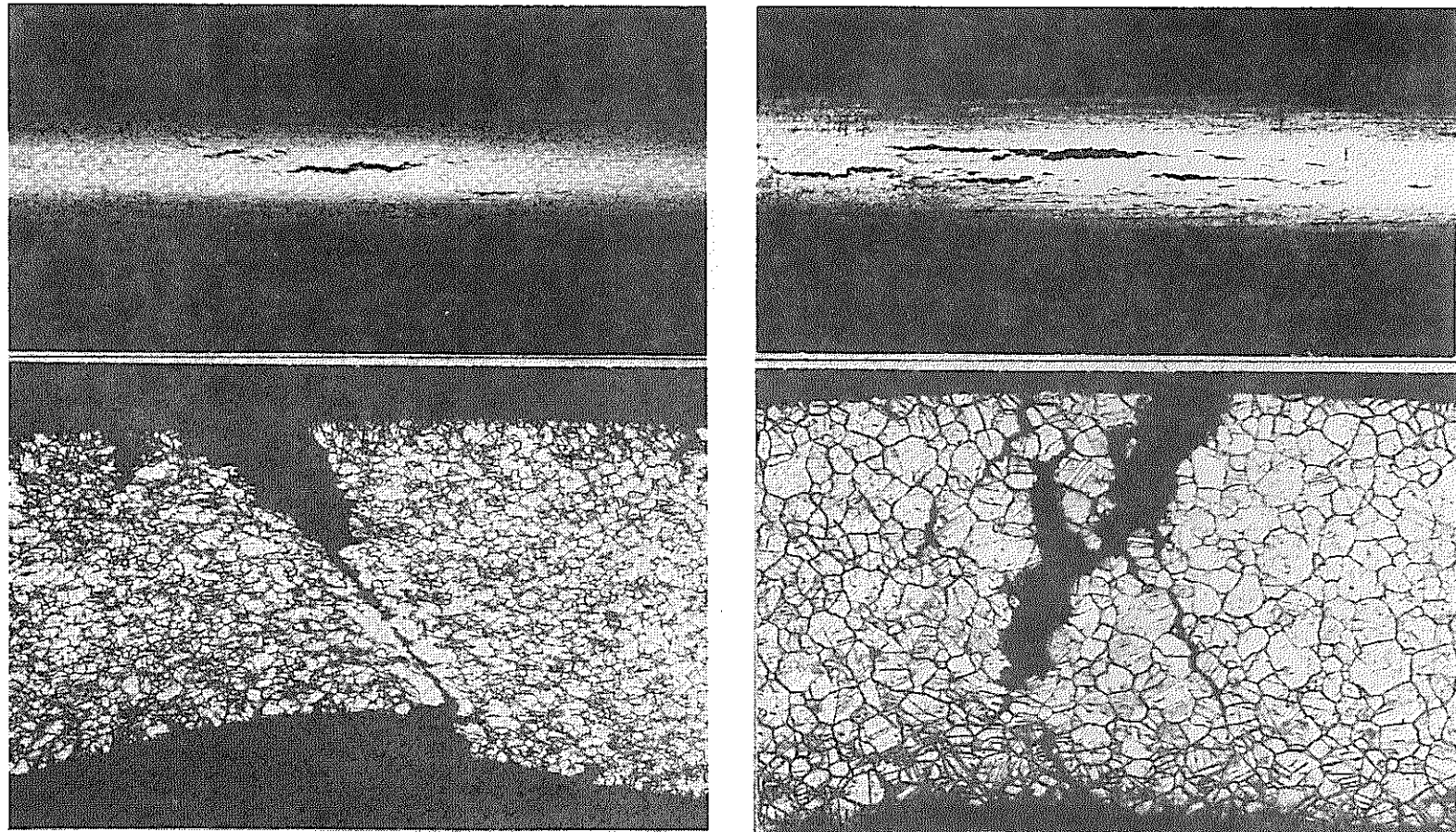


Photo. 1 Appearances of the specimens after creep rupture tests by internal pressure creep testing apparatuses of the same institute.

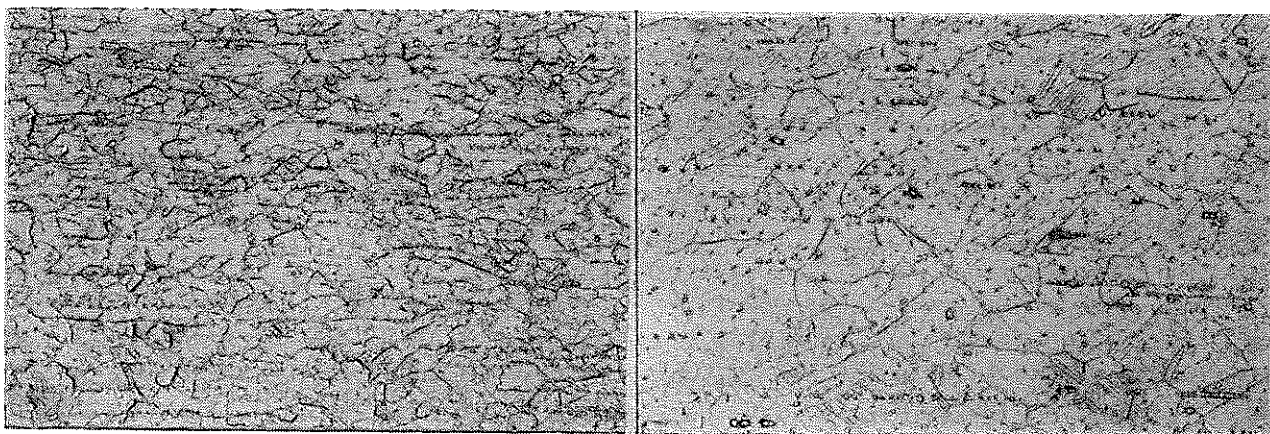


TubeA, 3058-3, 650°C, 230kg/cm<sup>2</sup>, 839.5hr.

TubeB, 3607-5, 650°C, 170kg/cm<sup>2</sup>, 2187.9hr.

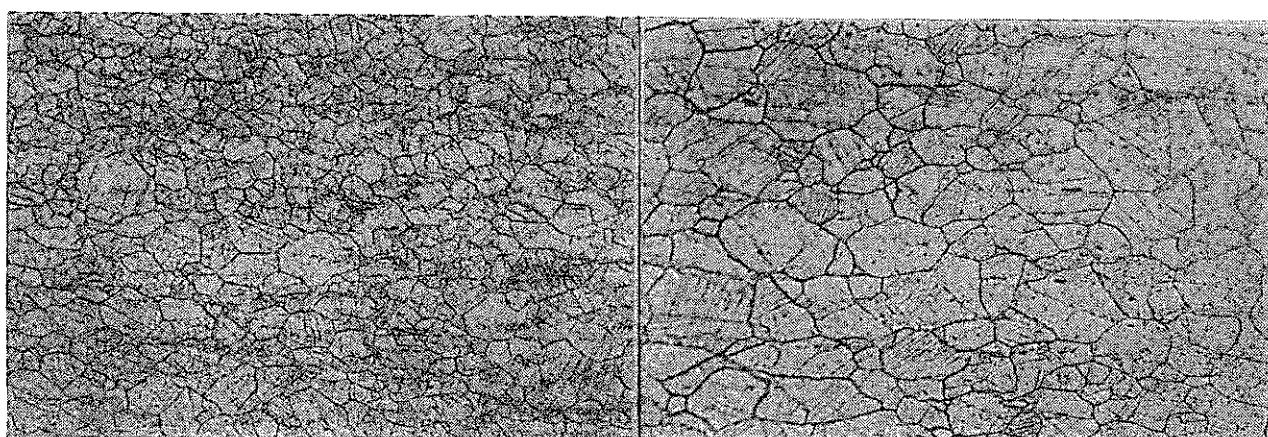
Photo.2 Some examples of cracks of the specimens ruptured under internal pressure at 650°C.





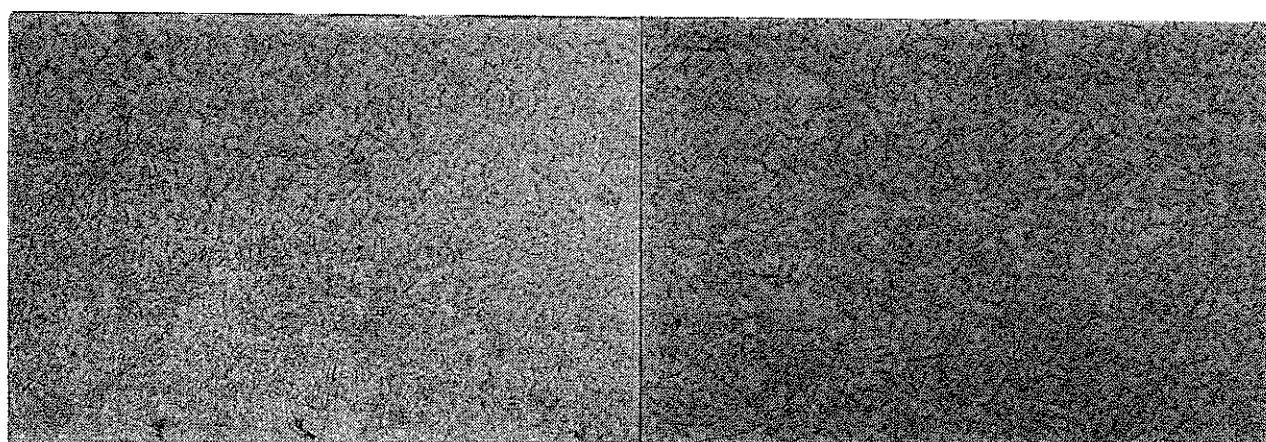
TubeA, Before test

TubeB, Before test



TubeA, 650°C, 200kg/cm<sup>2</sup>, 2211, 9hr

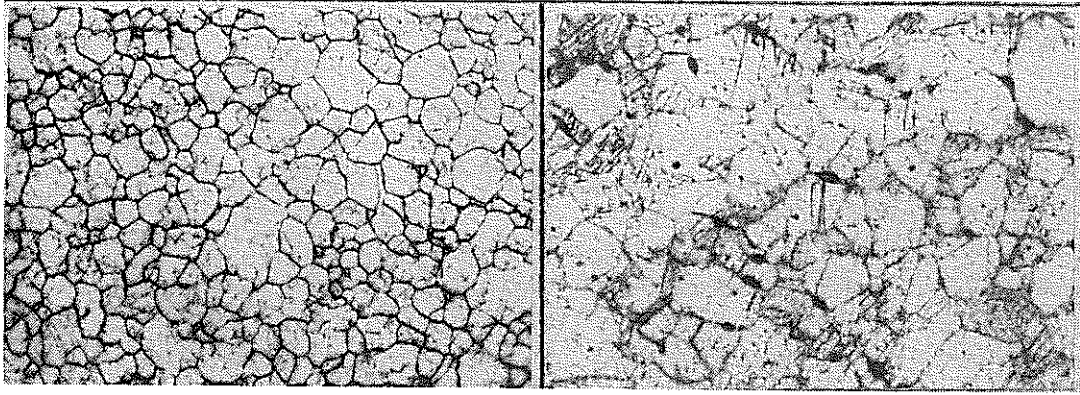
TubeB, 650°C, 170kg/cm<sup>2</sup>, 2028.2hr



TubeA, 700°C, 100kg/cm<sup>2</sup>, 4739.2hr

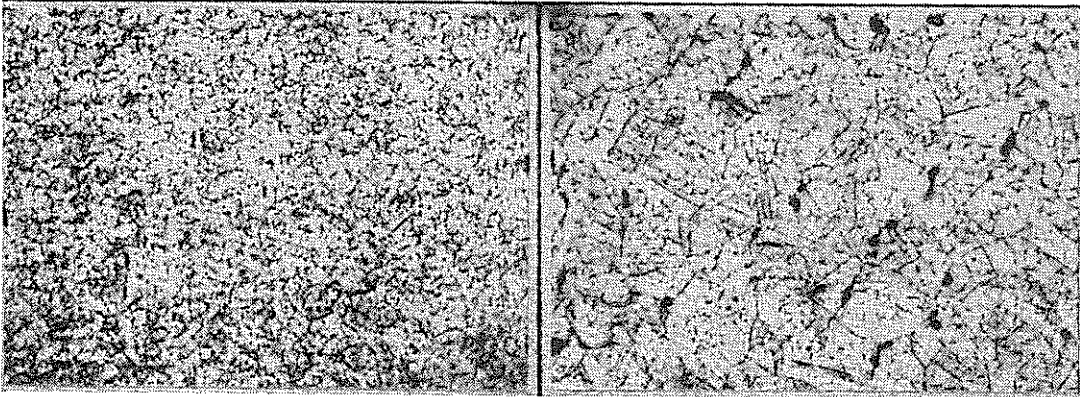
TubeB, 700°C, 100kg/cm<sup>2</sup>, 2562.0hr

Photo.3 Some examples of photomicrographs of the specimens ruptured under internal pressure at 650°C and 700°C.



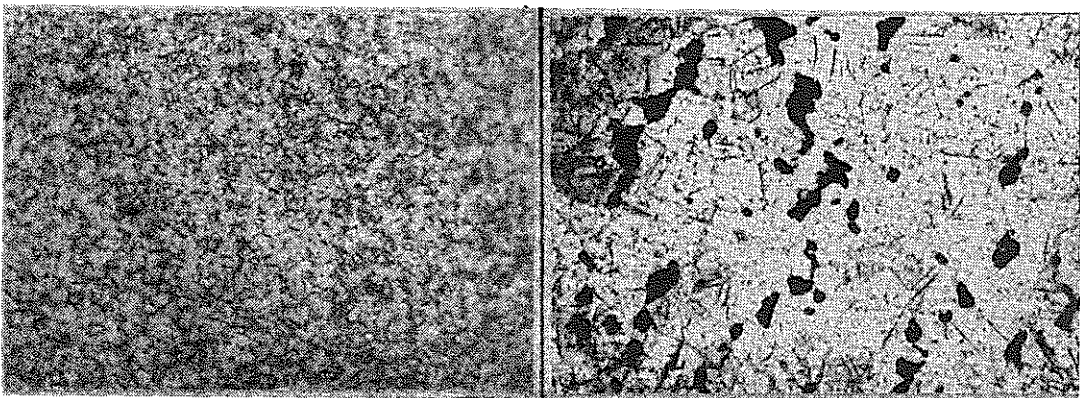
TubeA, 120kg/cm<sup>2</sup>, 133.4hr

TubeB, 120kg/cm<sup>2</sup>, 131.5hr



TubeA, 70kg/cm<sup>2</sup>, 404.0hr

TubeB, 70kg/cm<sup>2</sup>, 760.0hr



TubeA, 50kg/cm<sup>2</sup>, 946.0hr

TubeB, 50kg/cm<sup>2</sup>, 1845.5hr

Photo.4 Some examples of photomicrographs of the specimens ruptured under internal pressure at 750°C.

(付 録)

## 高速実験炉燃料被覆管仕様書

昭和43年11月28日

昭和44年1月16日 第1回改訂

昭和44年3月19日 第2回改訂

昭和44年8月12日 第3回改訂

動力炉・核燃料開発事業団



# 目 次

1. 適用範囲	(1)
2. 参考規格	(1)
3. 製造	(1)
3.1 溶解	(1)
3.2 熱処理および冷間加工度	(1)
4. 化学成分	(1)
4.1 ヒートの定義	(2)
5. 機械的性質	(2)
6. 金属組織	(3)
6.1 結晶粒度	(3)
6.2 介在物	(3)
7. 寸法精度	(3)
7.1 真直度	(3)
7.2 真円度	(3)
7.3 寸法公差	(3)
8. 表面仕上	(4)
9. 洗浄	(4)
10. 試験・検査	(4)
10.1 機械強度試験	(4)
10.1.1 偏平試験	(4)
10.1.2 フレア試験	(4)
10.1.3 かたさ試験	(4)
10.1.4 水圧試験	(4)
10.1.5 水圧破壊試験	(5)
10.2 探傷検査	(5)
10.2.1 浸透試験	(5)
10.2.2 超音波探傷検査	(5)
10.3 腐蝕試験	(5)
10.3.1 粒界腐蝕	(5)
10.3.2 耐食性	(5)
11. 製造履歴	(5)
12. 採取法および採取率	(5)
13. 取扱い、梱包および輸送	(6)
14. 提出書類	(6)

## 1. 適用範囲

本仕様書は高速実験炉用燃料被覆管に使用される AISI 316 縦目無しステンレス鋼管について規定するものである。

本仕様書に基づく製品は特に指定する場合を除いて、ASTM A-450の条項に合致しなくてはならない。

## 2. 参考規格

ASTM A-450	General Requirement for Alloy Steel Tubes
E-165	Liquid Penetrant Inspection
A-370	Mechanical Testing of Steel Products
E-112	Estimating the Average Grain Size of Metals
E-45	Determining Inclusion Content of Steel
A-262	Intergranular Attack in Stainless Steel

## 3. 製造

### 3.1 溶解

素材は真空溶解したものでなければならない。

### 3.2 熱処理および冷間加工度

製品は溶態化処理後8%~15%の冷間加工を施さなければならない。また製品は必要に応じて応力除去焼鈍を行なうものとする。

## 4. 化学成分

製品の化学成分は表1の仕様に合致しなくてはならない。

表1 化学成分

元 素 名	重量パーセント
炭 素	0.04~0.08
マ ン ガ ン ( 最 大 値 )	2.00
磷 ( " )	0.03
硫 黄 ( " )	0.03
珪 素 ( " )	0.75
ニ ッ ケ ル	11.00~14.00
ク ロ ー ム	16.00~18.00
モ リ ブ デ ン	2.00~3.00
コ バ ル ト ( 最 大 値 )	0.10
ボ ロ ン ( " )	0.001
窒 素 ( " )	0.035
鉄	バランス

供給者は各ヒートについて分析を行ない、仕様を満足していることを確認し、その結果を購入者に報告しなくてはならない。製品についても購入者の指示する採取法および採取率に従って各ロットについて分析を行ない、その結果を購入者に報告しなくてはならない。

#### 4.1 ヒートの定義

ヒートは単一の均一な溶解と定義される。

ロットは同一ヒートより連続的に製造され、同一焼鈍バッチで焼鈍された同一寸法および肉厚の製品でしかも連続的に検査されたものをいう。

#### 5. 機械的性質

製品は表2に示す機械的性質を満足するものでなければならない。試験片の採取法および採取率は購入者が指定するものとする。

表2 機械的性質

A. 室温における機械的性質(最小値)

抗張力 (Kg/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力 (Kg/mm <sup>2</sup> )	伸び-50mm (%)
60	40	25

B. 650℃における機械的性質(最小値)

抗張力 (Kg/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力 (Kg/mm <sup>2</sup> )	伸び-50mm (%)
30	20	15

6. 組織

6.1 結晶粒度

ASTM E-112 に示されている方法および購入者の指示する採取法および採取率によって試験を行ない、最大結晶粒度が ASTM No.6 より細かくなければならない。

6.2 介在物

素材および最終製品における介在物を ASTM E-45 の規定に従って検査しなければならない。

採取法、採取率および判定基準は購入者が指示するものとする。

7. 寸法精度

7.1 真直度

製品には折れ、ねじれがあってはならない。曲りは 1000 mm につき 0.75 mm 以下でなければならない。検査は製品全般について行なわなければならない。

7.2 真円度

真円度は内径の最大値と最小値の差として定義される。製品全般について真円度は 0.05 mm 以下でなければならない。

7.3 寸法公差

内径、外径および肉厚の公差は下記の限界をこえてはならない。検査は製品全数について行なうものとする。

内径 (mm)            ±0.025

外径 (mm)	±0.030
肉厚 (mm)	±0.030
長さ (mm)	+10 - 0

## 8. 表面仕上

製品の内外表面には酸化物等の有害な付着物があるてはならない。表面粗さは JIS 3S 以下でなければならない。

## 9. 洗 浄

洗浄において塩素を含む洗剤の使用は望ましくない。供給者が塩素を含む洗剤を使用する場合は、本仕様書による引合時に購入者にその旨報告し、検査報告書において製品の表面における残留塩素が表面 10 cm<sup>2</sup>あたり 0.008 mg 以下であることを示さなければならない。

検査の方法は購入者の承認を受けなくてはならない。

## 10. 試験・検査

### 10.1 機械強度試験

#### 10.1.1 偏平試験

ASTM A-450の試験法および購入者の指示する抜取法によって試験しなければならない。

#### 10.1.2 フレア試験

ASTM A-450に示されている試験法および購入者の指示する抜取法および抜取率によって試験しなければならない。

#### 10.1.3 かたさ試験

購入者の指示する抜取法および抜取率にもとづいて試験を行わなければならない。

#### 10.1.4 水圧試験

製品は全数について下式で与えられる圧力で常温における水圧試験を行わなければならない。保持時間は3.0秒以上でなければならない。

$$P = \frac{2st}{D}$$

P 圧力

s 表2に示す0.2%耐力の $\frac{1}{2}$

t 公称肉厚

D 公称外径

### 1 0.1.5 水圧破壊試験

購入者の指示する採取法および採取率にもとづいて水圧破壊試験を行ない、破壊圧力が $800\text{Kg}/\text{cm}^2$ 、降伏圧力が $650\text{Kg}/\text{cm}^2$ 以上でなければならない。

### 1 0.2 探傷検査

#### 1 0.2.1 浸透試験

製品は全数について ASTM E-165 に規定する方法にもとづいて管外表面の浸透試験を行ない、肉眼で識別しうる欠陥があってはならない。

#### 1 0.2.2 超音波探傷検査

製品は全数、適当な装置によって超音波探傷を行ない、標準試片における信号と同等以上の欠陥信号を示すものは不合格とする。標準試片は深さ $0.025\text{mm}$ 、長さ $0.75\text{mm}$ の横方向および縦方向の人工欠陥を有するものとする。

超音波探傷において全長に亘ってシャワー・エコーの発生がある場合、標準試片に対する欠陥信号の $\frac{1}{4}$ 以上のシャワー・エコーがあれば不合格とする。但しシャワー・エコーの発生が局所的な場合はこの限りでない。

### 1 0.3 腐蝕試験

#### 1 0.3.1 粒界腐蝕

購入者の指示する採取法および採取率による試片について断面の顕微鏡観察をエッチング無しで100倍の倍率で行ない、粒界腐蝕があってはならない。

#### 1 0.3.2 耐食性

製品は ASTM A-262 にもとづいて耐食試験を行なわなければならない。試験においては炭化クロム析出物とシグマ相析出物に伴う粒界腐蝕のいずれをも試験しなければならない。合格基準は購入者で指示するものとする。

## 11. 製造履歴

供給者は製品の最終焼鈍温度並びに最終加工度について、製品納入時に報告書を提出しなくてはならない。

## 12. 採取法および採取率

採取法および採取率は購入者の定める品質管理方案の条項に合致しなくてはならない。

### 13. 取扱い、梱包および輸送

製品は表面を損傷しないよう注意して取扱い、梱包および輸送しなくてはならない。

製品は一本づつ紙またはポリエチレンで包装し、輸送中の曲りおよび損傷の恐れのない輸送容器で輸送しなくてはならない。

輸送容器には下記の項目について明確に表示しなくてはならない。

- 1) 注文番号
- 2) 供給者名
- 3) 等級
- 4) 寸法
- 5) ロットおよびヒートまたはインゴット番号

### 14. 提出書類

供給者は下記の書類および試料を定められた時間に購入者に提出し、その承認を得なくてはならない。

項 目	提出部数	提 出 時 期
製造要領書		先行試験前
品質管理方案		"
製造設備説明書		"
製造および品質管理書式		"
製造予定		"
先行試料		"
試験検査成績書	3	試験検査後30日以内
ロット記録	3	製造後(ロット)30日以内