

(162) クリープ破断データの整理に対する統計的考察

住友金属工業中央技術研究所

工博 三好栄次・行俊照夫・○太田州彦

On the Statistical Considerations for Creep Rupture Data

Dr. Eiji MIYOSHI, Teruo YUKITOSHI and Kunihiko Ota

1. 緒言

高温用材料のクリープ破断強度を求める手段として最近では同一鋼種の多数溶解材によるクリープ破断試験を行ない、バンドにより平均値あるいは最小値を求める方法が多く採用されているが、このような多数のデータを整理する場合には統計的手法によりデータを客観的に扱うことが望ましい。そこで応力-破断時間線図においてクリープ破断データを統計的に処理する方法について検討し、また、この際生ずる問題点を事例により明らかにし、その取扱い方について述べる。

2. クリープ破断データの整理における統計的手法

現在一般に考えられている方法は、応力-破断時間線図において対数破断時間を横軸(x軸)に、対数応力を縦軸(y軸)にとつて最小2乗法により平均値の曲線を推定し、(破断時間に対する応力の回帰)さらにその曲線からのバラツキに基づいて信頼限界曲線を計算する方法である。ここで簡単のため直線の場合を考え、これを図示すると Fig. 1(a) のようになる。またデータ数をnとすると回帰直線は(1)式、信頼区間は(2)式で示される。

$$y = \bar{y} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} (x - \bar{x}) \dots\dots\dots (1)$$

$$\left(y - t_{\alpha} \sqrt{V_e \left\{ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}}, \right. \\ \left. y + t_{\alpha} \sqrt{V_e \left\{ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}} \right) \dots\dots (2)$$

$$V_e = \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right\}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right] / (n-2)$$

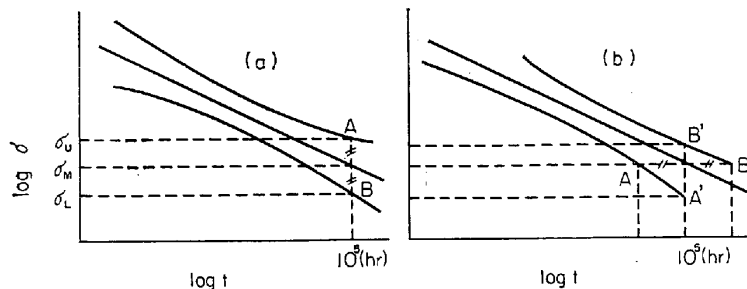


Fig. 1. Rupture stress-time curves.

.....(3)

t_{α} : t分布の α ポイント α : 危険率
 x_i, y_i : 各データの値 \bar{x}, \bar{y} : 平均値

しかしこの計算プロセスが適用される条件の1つに“横軸の変数は誤差を含まず縦軸の変数が誤差を持つ”という前提があり、応力-破断時間線図では確率変数である時間を横軸に、固定変数である応力を縦軸にとつていたのでこれと矛盾している。そこで軸のとり方を逆にして対数応力を横軸(x軸)に、対数破断時間を縦軸(y軸)にして計算する方法、すなわち応力に対する破断時間の回帰が考えられる。この場合は上記の条件を満足しており、これにより求めた曲線を Fig. 1(b) に示す。これを外挿して 10^5 hr との交点の応力をとれば、それは破断時間の平均値が 10^5 hr であろうと推定される応力(σ_M)であり、下部信頼限界曲線の 10^5 hr に対応する σ_L はこの応力における破断時間が 10^5 hr 以下である確率が $100 \times \alpha / 2\%$ になるような応力である。以上よりクリープ破断データを整理する場合は応力に対する破断時間の回帰曲線を求める方が適当と思われる。

実際のクリープ破断データに統計的手法を考慮した例としては、外国では T. M. KREBS¹⁾ の例があり、この場合は 18-8 システンレス鋼の熱処理・化学成分などの異なるデータをまとめて、1次、2次の回帰曲線および95%信頼限界により 10^5 hr クリープ破断強度の平均値、最小値を求めている。国内では学振第129委員会第3分科会²⁾において同一試験材について23の試験機関によりクリープ破断試験を行ない、データのバラツキを整理するため応力-破断時間線図において回帰曲線、95%信頼限界などを求めている。しかし前者は破断時間に対する応力の回帰を行なっているのに対し、後者は応力に対する破断時間の回帰を行なっている。筆者らは応力に対する破断時間の回帰を行なう方が適切と考え、後に示す計算例はすべてこの方法により行なつた。また回帰曲線を求める場合多項式をあてはめるのが普通であるが理論式がないので最高次を何次にするかにより推定値が変わってくる。したがって何次までとるかは種々の場合を計算してみた上で誤差の寄与率を比較し決定しなければならない。そこで計算が非常に複雑になるので以下の事例では直交多項式を使用して計算を簡略にし、電子計算機により計算した。

3. 統計的手法の実際のデータへの応用

統計的手法を実際のデータへ応用する場合には種々の問題が生じてくる。第1に回帰曲線を求める場合どのような関数をあてはめるか、これには理論的根拠がなく、曲線の形を一般的に決定するほどの長時間データもない。第2に多数チャージのデータをバンドで整理することが多いがこの方法が適当かどうか。第3に統計的処理を行なうにはどのような計画により試験を行なうべきか。これらの点を明らかにするため既知のデータを使用して検討した結果を次に示す。

3.1 応力-破断時間曲線の形

実際の応力-破断時間曲線の形を分類すると Fig. 2(a)~(d)に分けられ、多項式で近似するにしても困難な場合がある。(a)はほぼ直線

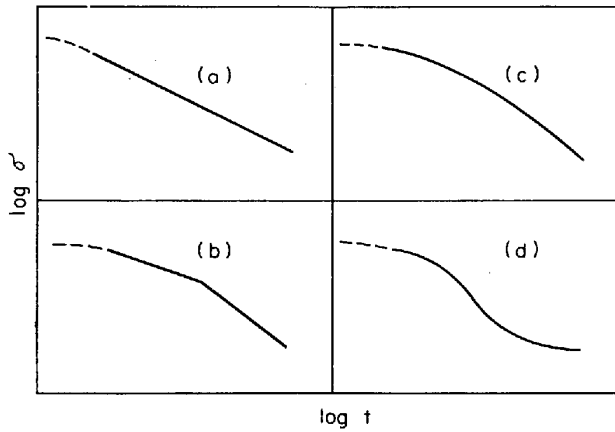


Fig. 2. The shape of rupture stress-time curves.

を示すもの、(b)は直線であるが途中で折れ曲るもの、(c)はほぼ2次曲線を示すもの、(d)は変曲点があり一応3次曲線があてはまるものである。しかし個々の曲線がこのような分類できてもバンドにより強度を求める場合はこれらが重なり合っており、回帰曲線を求めても外挿の点では困難な場合がある。次に2、3の実例について述べる。

18-8 Ti 鋼のデータ²⁾をまとめた例を Fig. 3 (a) に示した。この回帰曲線を求め、分散分析を行なうと1次の項が99%の信頼度で有意になる。図中に1次の回帰直線および信頼限界を示した。Fig. 3 (b)は炭素鋼のデータ²⁾で、この場合は1次の項および2次の項が99%の信頼度で有意になる。図中1次の回帰直線および2次の回帰曲線を①、②で示した。2次曲線の場合は極大値を持つており、実際のデータはこのようなことはあり得ない。このことは回帰曲線による外挿の危険性を示していることになる。そこで理論的根拠はないが、極値を持たない関数、すなわち横軸の変数の減少とともに極値を持たず、なだらかに増加する曲線をあてはめる試みも考えられる。その例を図中③で示した。①'は高応力のデータが他の部分と異なつた傾向を示すので回帰直線を求める場合除いたものである。

このように応力-破断時間線図において回帰曲線、信頼限界を求めることにより客観的な強度値が求められるが、回帰曲線が直線で表わせない場合は外挿は非常に困難である。これを解決するには実際にかなり長時間のデータを得るか、同種の材料によりあらかじめ応力-破断時間曲線の形がわかっていることが必要である。応力-破断時間曲線の形は Fig. 2 に示したが最近までは(a)

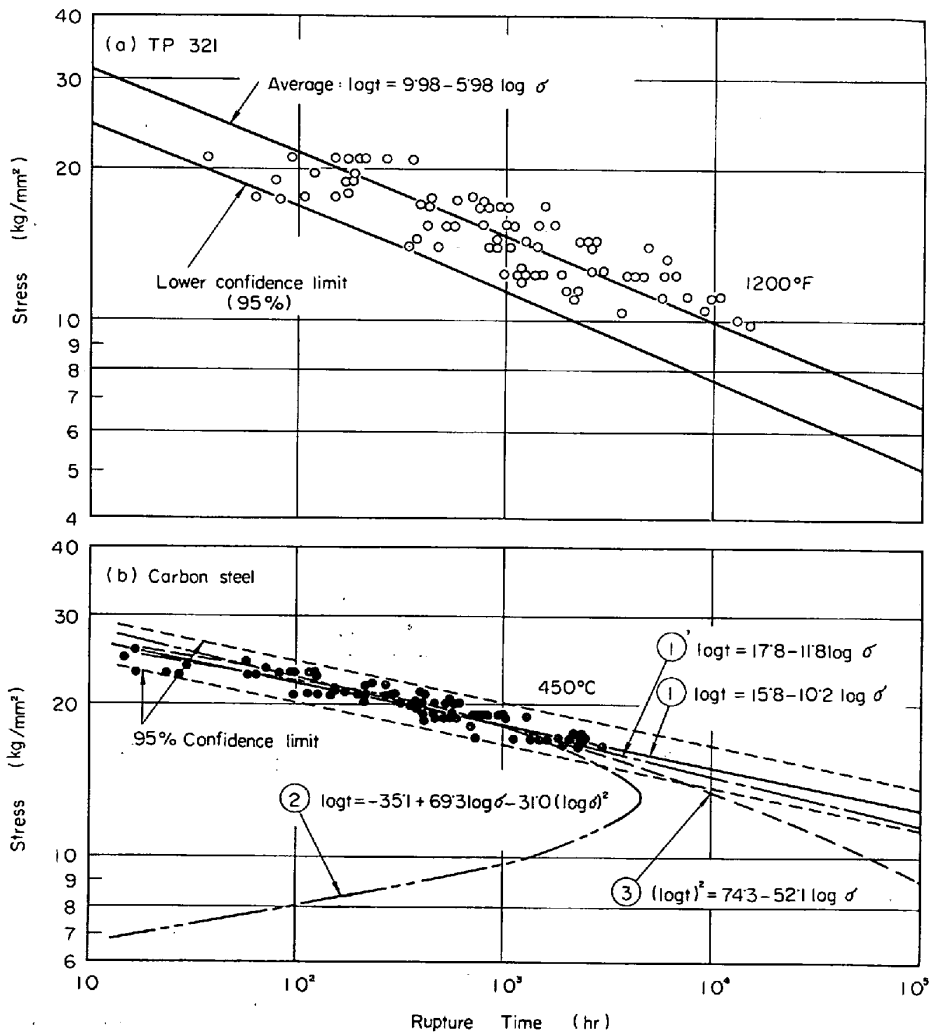


Fig. 3. Rupture stress-time curves of TP 321 and carbon steel.

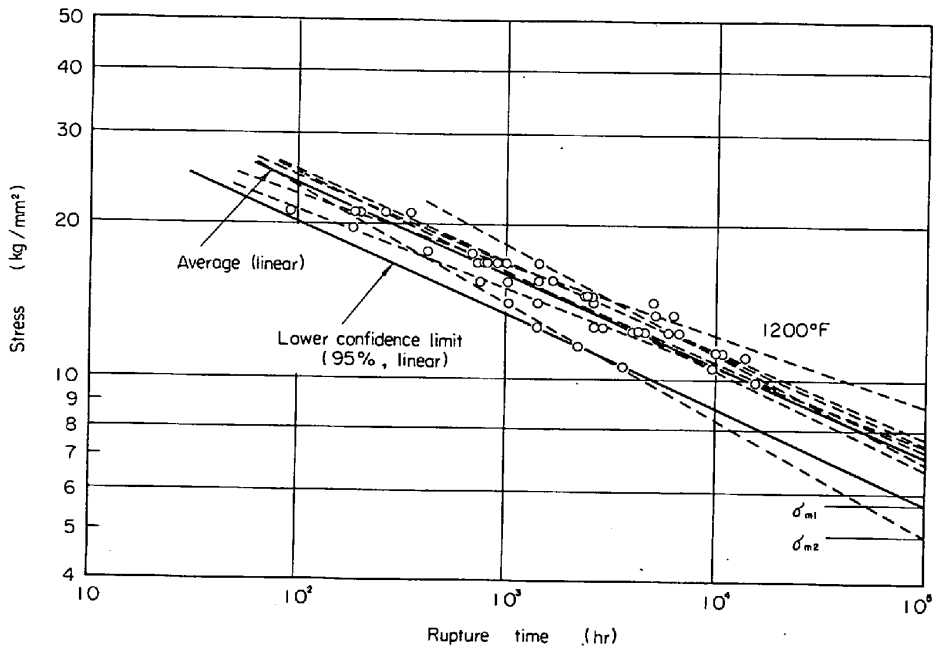


Fig. 4. Rupture stress-time curves of TP 321.

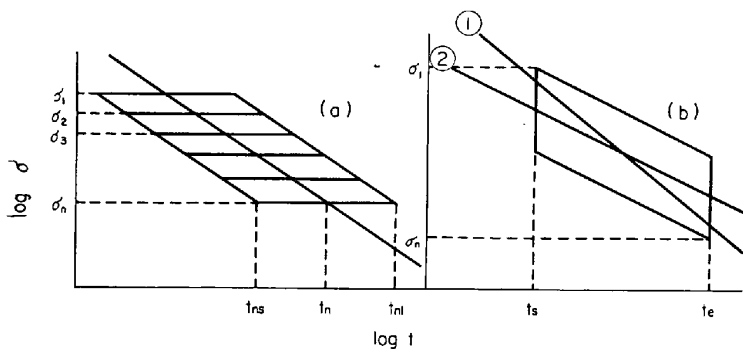


Fig. 5. Two types of schematic creep rupture data.

～(c)のものが一般的であつた。しかし最近かなり長時間の試験が行なわれるようになり (d) に示す形のデータ、すなわち変曲点のあるデータが出てきた⁴⁾。変曲点の現われる時間は鋼種、試験温度などにより著しく異なっており、早いものは約 1000 hr、遅いものは 10,000 hr 以上で現われている。このような例は低合金鋼に多く見られ、外挿を一層困難にしている。

3.2 バンドにより強度を求める方法

多数チャージのデータをまとめる場合は一般にバンドにより整理することが多いが、この場合、各チャージごとに外挿を行なつて強度を求めた結果と、バンドにより外挿を行なつて求めた結果がかなり異なる場合がある。Fig. 4 はその例で各チャージごとに求めた回帰直線 (破線) の最小値 σ_{m1} とバンドで求めた最小値 (実線) σ_{m2} が異なつた値を示している。このようなことは、バンドによる解析の場合、各チャージのデータの勾配を無視したりチャージにより試験応力のとり方が異なるからである。この時にはチャージごとに強度の平均値およびバラツキを求め、その結果より全チャージの平均値およびバラツキを推定する方法が考えられる。ただしこの場合は各チャージのデータ数がかなり多いことが必要である。

3.3 統計的処理に適した試験計画

多数チャージについて試験したデータには Fig. 5 (a), (b) の種類がある。(a) は各材料について $\sigma_1 \sim \sigma_n$ の応力で試験したものであり (b) は各材料について破断時間が t_1 から最長 t_n になるように試験したものである。(b) において応力に対する破断時間の回帰直線を求めると図中①の直線が得られ、各材料ごとに回帰直線を求めるとその平均値は②のようになる。したがつてこの場合はバンドによらず、各材料ごとに回帰直線を求め、さらにそれから平均値または最低値を求めることが必要である。これに対し (a) は統計的処理を行なうのに適したものであるが、この場合 σ_n におけるデータがすべて得られなければバンドとして統計的処理を行なうことができない。

4. 総 括

(1) 応力-破断時間線図によりクリープ破断データを整理する場合、従来は破断時間に対する応力の回帰曲線を求める方法が一般的であつたが、軸のとり方を変えて応力に対する破断時間の回帰曲線を求める方が適当と思われる。

(2) 実際のデータに統計的手法を応用する場合、次の点に問題がある。

a) 回帰曲線および信頼限界を求めることにより、客観的な強度値を求めることができるが、回帰曲線が直線にならない場合の外挿は困難である。

b) 低合金鋼では変曲点を示すデータがかなりあり、この場合は変曲点より長時間のデータにより外挿する必要がある。

c) 多数の材料のデータをまとめる場合、バンドにより求めた値と各チャージごとに求めた値が異なる場合があり、このときには各チャージごとの強度を考慮する必要がある。

d) 統計的処理を行なう場合には試験を計画的に行な

う必要がある。すなわち各試験応力で全試験材について試験を行なうことが望ましい。

文 献

- 1) T. M. KREBS and N. SOLTYS: Joint International Conference on Creep, Book 4 (1963) p. 6-21, p. 6-101
- 2) 日本学術振興会第129委員会第3分科会: 第3回共通クリープ破断試験結果報告書
- 3) ASTM Data Series Publication DS5-S1 (1965)
- 4) J. H. BENNEWITZ: Joint International Conference on Creep, Book 4 (1963), p. 5-81

(171) 19Cr-7Ni-9Mn 系耐熱鋼の C の影響

(Mn-Cr-Ni系耐熱鋼の研究—II)

三菱重工 荒城 義 郎
 特殊製鋼

工博 日下邦男・石川英次郎・○鴨下明雄

The Effect of C on the Properties of 19Cr-7Ni-9Mn Heat Resisting Steels

(Study on Mn-Cr-Ni modified heat resisting steels—II)

Dr. Yoshiro ARAKI, Kunio KUSAKA

Eijiro ISHIKAWA and Akio KAMOSHITA

1. 緒 言

前報¹⁾において、著者らは、W, N, Nb を含有する Mn-Cr-Ni 系耐熱鋼が JIS SUH 31 より高温特性が優れていることを明らかにした。またこれら耐熱鋼をジェットエンジンの予燃焼室や渦流室あるいは非磁鋼として実用試験に供しその結果がきわめて良好であることを報告した。

しかしこれらのうち C 0.40% 前後を含有するものは常温強度はきわめて高いが靱性がやや不足し、ある部品においてはその加工過程において、または実用上問題を生ずることがある。

本報においてはCの影響について調査し、適当なC量においては強度も十分であり、かつ靱性も優れていることがわかったので報告する。

2. 供 試 材

供試材は 12 t エル—式電気炉もしくは 100 kg 高周波誘導炉にて溶製した 650 kg 鋼塊または 100 kg 鋼塊を

φ20 mmに鍛伸したものをを用いた。Table 1に供試材の化学成分を示す。供試材は Cr 19%, Ni 7%, Mn 9%, W 1.2%, N 0.3%, Nb 0.2% を基本とし C を0.2% ~0.5% まで変化させた。

3. 実 験 結 果

3.1 実用曲げ試験

JIS Z2248 で示される曲げ試験では、各C量ともほぼ同じ結果を示しその差が明りようでないのでノッチ付試験片で試験をおこなった。Fig. 1に示すごとき試験の中央部に荷重をかけ亀裂発生まで順次荷重を増加せしめその時の撓み量を測定した。C 0.3% 以上のものは SUH 31 より剛性の高いことを示し、C 0.4% の Y13 は SUH 31 より撓み量が小さいうちに亀裂を発生した。ある一定量以上の撓みを得るためには熱処理状態を変化させるのも1方法であるが、C量を適当に定めるのがもつとも効果

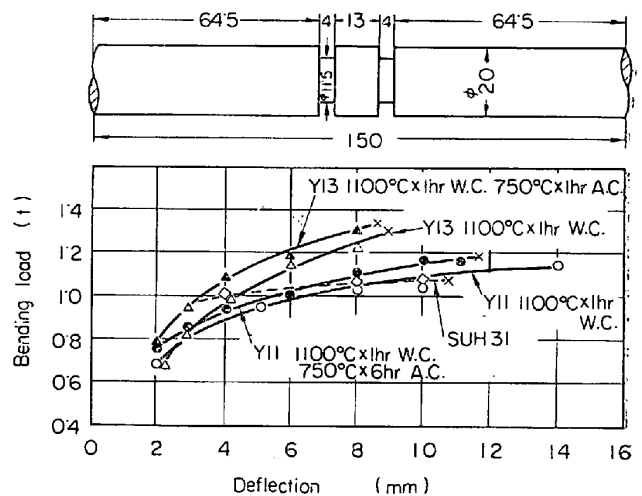


Fig. 1. Bend test specimen and result of test.

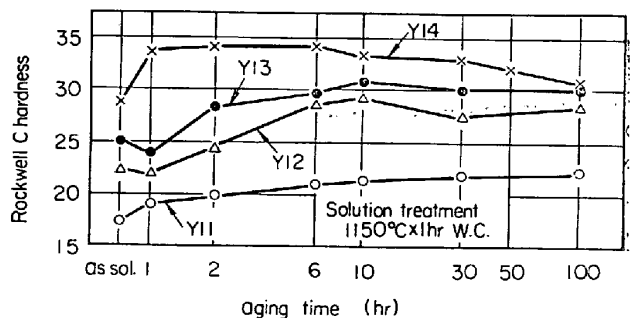


Fig. 2. Change of hardness after aging at 750°C.

Table 1. Chemical composition of steels tested.

Steel No.	Chemical composition (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	N	Nb
Y 11	0.22	0.48	8.84	0.022	0.013	7.17	18.86	1.12	0.25	0.16
Y 12	0.30	0.47	9.00	0.020	0.013	7.63	18.82	1.09	0.22	0.15
Y 13	0.40	0.57	9.68	0.024	0.020	7.25	18.76	1.23	0.33	0.23
Y 14	0.50	0.24	9.24	0.027	0.040	8.14	18.88	1.21	0.30	0.19
SUH 31	0.40	1.90	0.43	0.014	0.025	13.73	15.27	2.63	—	—