

Creep Data Processing and Test Managing Systems



松崎 明博
Akihiro Matsuzaki
鉄鋼研究所 厚板研究
部厚板研究室 主任研
究員(掛長)



増子 修
Osamu Masuko
鉄鋼研究所 厚板研究
部厚板研究室



岡 裕
Yutaka Oka
鉄鋼研究所 厚板研究
部厚板研究室 主任研
究員(課長)



本藤 康弘
Yasuhiro Motofuji
鉄鋼研究所 計測制御
研究部

1 緒 言

クリープ特性は高温環境下で使用される材料が具備すべき主要特性の一つであり、高温材料の評価、設計には欠くことのできないものである。当社ではこれまでに、クリープおよびクリープ破断(単式、複式、内圧型)試験設備を充実させ、多数のクリープデータを取得し、鋼材開発、材質評価、技術サービス活動等に活用してきた。

クリープ試験は他の材料試験に比べて、試験が長期にわたりしかもデータが短時間側から間欠的に得られるという特徴を有している。したがって、材料のクリープ特性を迅速かつ的確に評価するためには、短時間の限られたデータから長時間の特性を予測し、クリープ特性の評価あるいはその後の試験運営に反映させることが重要となる。当社では従来、クリープデータの整理および解析にあたってはコンピュータによるデータ処理の実績を有している。しかし、近年耐熱材料開発の活発化にともないクリープデータの要求が増大しており、限られた試験設備あるいは開発期間の中でこれらの要求に応えるためには、より適切な試験条件の選定、効率的な試験機運営によるクリープ試験の実施が必要となってきた。

要旨

クリープ試験の効率化およびデータの有効利用を目的として、コンピュータによるデータ処理および試験管理システムを開発した。試験材の化学成分、履歴、クリープデータ等の情報はデータベースに一元管理され、利用者は必要な情報を入力データの解析および処理により図表として入手することができる。クリープ試験の結果はデータシートとして定期的に社内に刊行され、研究開発、技術サービス活動等に利用されている。また試験機の運用に関する情報を基に、適切な試験条件の設定、使用試験機の選定が行われる。さらに試験の途中経過を基に試験実施の見直しが行われ、その結果として有効かつ効率的な試験の運用が図られている。本システムは全社のコンピュータネットワークを通じて他の事業所においても利用できる。

Synopsis:

A computer system composed of both the processing of creep data and the managing of creep testing machines was developed to operate creep testing machines efficiently and make the best use of creep data. Various kinds of information such as chemistry and history of materials and creep data are centralized and stored in the data base of this computer system. Information demanded by users can be analyzed and processed to figures and tables from the data base. The creep data sheets are periodically issued as a limited publication, which is used for development of new materials and for technical presentation to clients. Both suitable test condition and testing machine are chosen based on the information about managing of creep testing machines. By analyzing the data under testing with this newly developed computer system, the test condition can be reconsidered. As a result, most effective and efficient administration of tests have become possible. This computer system can be accessed by all Works of Kawasaki Steel through its computer network system.

以上の要求に応じて今般、当社では、コンピュータを用いたクリープデータ処理および運用システムを実用化した。

2 クリープシステム概要

クリープデータ処理および運用システムの概要をFig. 1に示す。本システムは当社の技術研究本部(千葉)にその中枢を有し、全社のネットワークシステムと連結されている。したがって、他の事業所においても利用することができる。本システムは、試験結果および試験運営に関する情報が蓄積されるデータベース部、およびそれを基に試験管理ならびに解析を行うデータ処理機能部から構成されている。データベースとしてはRDB(Relational Data Base)を採用し、データは2次元テーブル上に登録される。RDBはテーブル形式のデータ管理、検索するための汎用ソフトウェアであり、データ

* 昭和62年2月19日原稿受付

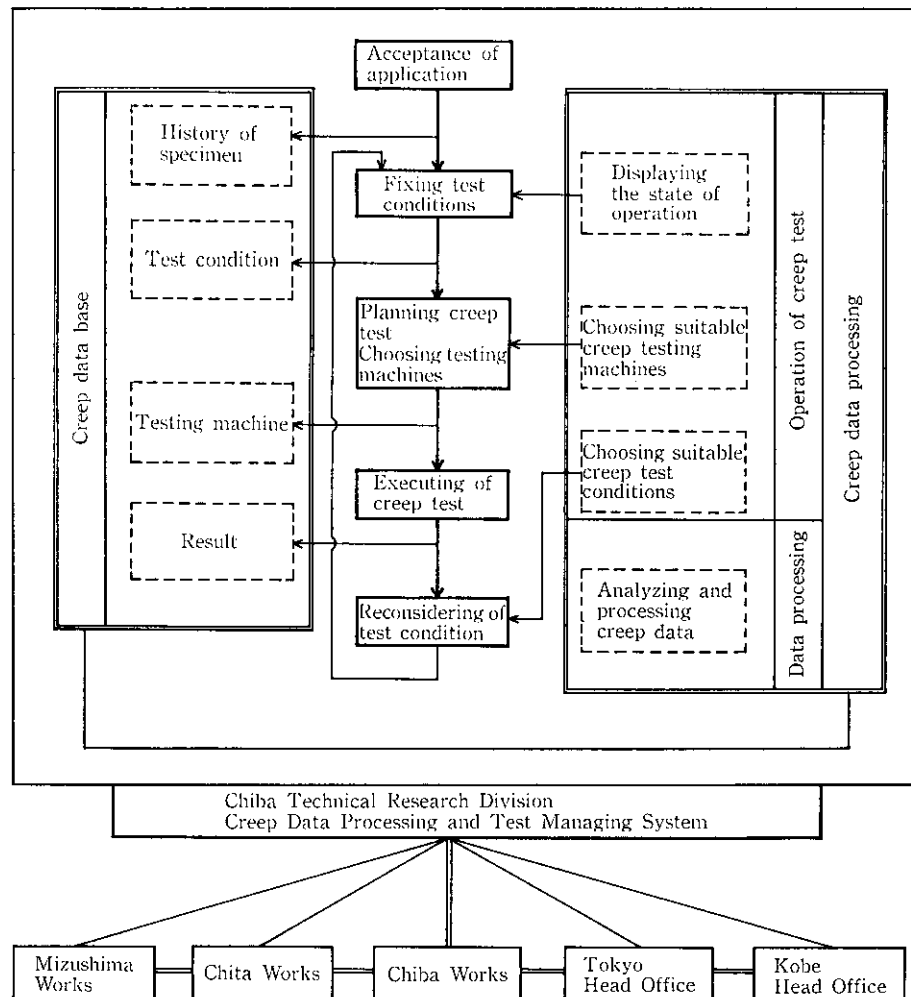


Fig. 1 Outline of creep data processing and test managing system

ベースの構築、管理、拡張あるいは他の RDB との連結が容易であるという特徴を有している。試験片の履歴、試験結果、試験運営に関する情報は全てこのデータベースで一元管理されており、入出力、データ管理の効率化が図られている。

試験の流れは、依頼受付→試験条件の決定→使用試験機の選定→試験の実施→試験条件の見直しの順である。この過程において発生する情報は逐次データベースに登録される。入力にあたっては入力ミスを極力防止するために人為的チェックの他に、コンピュータにより矛盾データ、不自然なデータをチェックしている。また、データ処理部の機能を用いて、利用者とコンピュータとの対話形式により試験を効率的に運用するための処置が施される。すなわち、まず依頼受付時には材料規格、化学成分、製造履歴、試験片採取要領、試験条件、予定破断時間、納期等の情報がデータベースに登録される。この際に利用者は試験機の稼動状況、試験予定を見て条件の変更を行うことができる。次に試験機の稼動状況および予定破断時間、納期等の情報を基に適切な使用試験機、試験計画が決定され試験開始となる。試験結果は2週間ごとにデータベースに登録され、依頼者は常に新しい試験結果を検索、処理することが可能である。また、2箇月ごとに実績破断時間と予定破断時間を比較することにより、初期に設定された試験応力の見直しを行っている。その結果、見直しの必要が生じた条件については依頼者へ通知して再度適正条件が検討される。クリープ試験は初期に設定した負荷荷重条件で試験が継続実施されるため、当初設定した負荷荷重が適切でない

場合は予定破断時間よりも必要以上に短時間あるいは長時間のデータが得られるケースがあった。しかしながら、本管理システムにより条件が随時適正化され、データの効率的な取得および試験機の有効利用が実現された。

得られたクリープ試験データは、当社所有の全クリープデータとともに後述のクリープデータシートとして定期的（年2回）に社内刊行されて広く利用されている。また、利用者は各事業所の端末から試験状況を随時把握でき、必要に応じて任意のデータ解析、処理を行うことができる。

3 データ処理の概要

3.1 データ検索

データの整理、解析にあたってはヒート単位の検索を基本とし、製造履歴、試験データ等を検索して処理する。さらに、ヒート間のデータの重ね合わせ、またデータの選別あるいは特定項目（例えば温度、化学成分等）に着目した検索も可能である。一方、試験管理にあたっては全機種の稼動状況および試験予定条件等を検索、処理し表示を行う。

3.2 解析方法

データの整理および破断強度の推定には、一般に応力-破断時間

のクリープ破断曲線や応力-パラメータの主破断曲線が用いられる。本システムでは主として Larson-Miller パラメータ

$$P = T(C + \log t_r) \quad (1)$$

T: 温度 (K)
t_r: 破断時間 (h)
C: 定数

を用いて主破断曲線上で最適回帰法によりデータの平均値が求められる¹⁾。すなわち、パラメータ P を (2) 式のように対数応力の多項式で近似する。

$$P = a_0 + \sum_{j=1}^K a_j (\log \sigma)^j \quad (2)$$

a_j: 多項式係数
K: 多項式次数
σ: 応力

定数 C は (2) 式により推定される破断時間 $\hat{t}_r$ と実績破断時間 t_r との差の平方和すなわち (3) 式が最小となるように決定される。

$$Q = \sum_{i=1}^n (\log t_{ri} - \log \hat{t}_{ri})^2 \quad (3)$$

n: データ数

また (2) 式中の次数 K は、パラメータを応力の直交多項式で近似し、次数 K を 0 から最高 5 次まで順次上げていき、各次数における分散分析の結果、有意となる最高の次数を採用した。また、パラメータ法によるあてはめの程度は次式で示す対数破断時間の標準誤差 SEE (Standard error of estimation) を用いて評価できる。

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log t_{ri} - \log \hat{t}_{ri})^2}{n - K - m - 1}} \quad (4)$$

m: パラメータに含まれる定数の数

一般に SEE 値が 0.1 以下であれば良好なあてはめ性が得られており推定精度も良好と評価される。ただし、本手法ではパラメータを対数応力の多項式で近似しているため試験応力外の外挿値の評価にあたっては十分の注意が必要である。

定数 C は一般的に $C=20$ を採用するケースが多いが、本システムでは目的に応じて固定値 ($C=20$) または最適化された値を用いることができる。前者はヒート間のデータ比較に、後者は破断強度の推定に主として用いられる。

クリープ破断データの特性によっては上述のパラメータでは良好なあてはめ性が得られず推定値の精度が低下する場合がある。パラメータ法は本来物理的意味が乏しく、その適用には限界があると考えられる。そのようなデータの解析精度を高めるためにパラメータ法以外に種々の手法が研究されているが、本システムでは上述のパラメータ法以外に下記のパラメータを採用し解析することができる。

Manson-Succop パラメータ

$$P = \log t_r + CT \quad (5)$$

Orr-Sherby-Dorn パラメータ

$$P = \log t_r - \frac{C}{T} \quad (6)$$

Manson-Haferd パラメータ

$$P = \frac{\log t_r - C_1}{T - C_2} \quad (7)$$

Manson-Brown パラメータ

$$P = \frac{\log t_r - C_1}{(T - C_2)^{C_3}} \quad (8)$$

ただし、 C , C_1 , C_2 , C_3 は定数。

本システムでは主として (1) 式を用いており、この (1) 式より算出したパラメータを用いて推定した長時間側の推定破断強度は、一般に (6) および (7) 式のパラメータから推定したものに比べて高目の結果を与える傾向がある。

3.3 出力図表例

規格、化学成分、履歴、試験データの一覧表がデータシートとして出力される。その他にクリープ破断曲線、パラメータの定数を固定あるいは最適化して作成された主破断曲線および定数最適化法により求められた推定破断強度の一覧表、回帰式等も出力される。以下に出力の代表例を示す。Fig. 2 は STB35 の特定ヒートについてクリープ破断曲線を出力させたものであり、データ数は 21 である。図に示すように各試験温度ごとに記号を変えてクリープ破断応力、伸び、絞りと破断時間の関係を作図することができる。またデータの数は図の上に $N=21$ と表示される。

Fig. 3 は Fig. 2 に示したクリープ破断データを (1) 式に示した Larson-Miller パラメータの定数 C を 20 に固定して同パラメータで整理した主破断曲線である。この場合のデータの数、パラメータの定数 C の値、(2) 式で示した回帰式の多項式の次数 K および (4) 式から求められる SEE 値は図の上にそれぞれ $N=21$, $C=20$, $K=4$, $SEE=0.115$ と表示される。

Fig. 4 は Fig. 2 に示したクリープ破断データを Larson-Miller パラメータの定数 C を最適化した場合の主破断曲線である。定数 C は 22.1、回帰式の多項式の次数 K は 4、SEE 値は 0.097 である。

Fig. 5 は Fig. 2 に示したクリープ破断データを Larson-Miller パラメータの定数最適化法により求めた 350°C から 525°C までの 10³ h, 10⁴ h, 10⁵ h の推定クリープ破断強度の一覧表である。算出に用いたパラメータの定数 C は 22.10756 であり、多項式の次数 K は 4 である。

前述したように、本パラメータ法では試験応力範囲内の破断強度の推定については優れた精度を有する。しかしながら、試験応力範囲外の破断強度の推定については誤差が大きくなる場合があるため括弧で表示される。

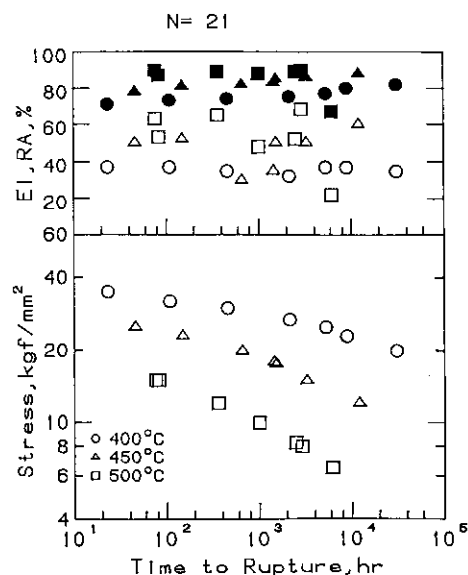


Fig. 2 Example of creep rupture curves for STB 35

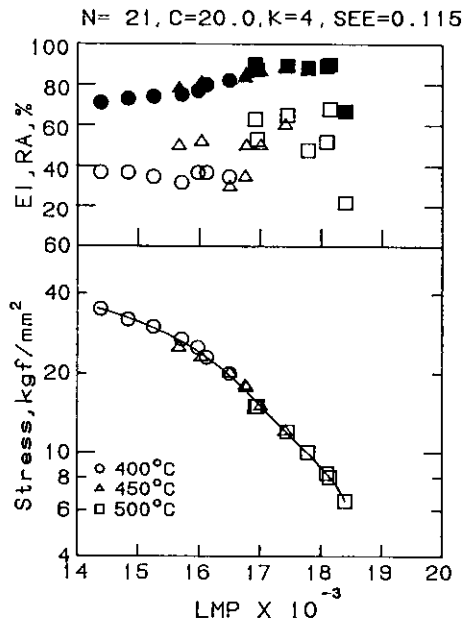


Fig. 3 Example of master rupture curve (C is fixed to 20)

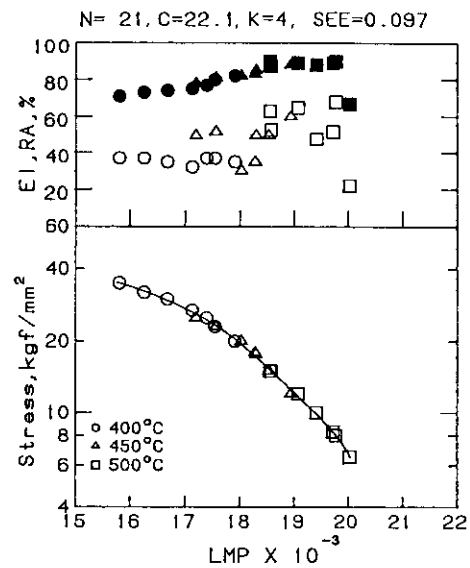


Fig. 4 Example master rupture curve (C is optimum value)

AVERAGE RUPTURE STRENGTH ESTIMATED BY TTP METHOD (KGF/MM**2)
 TTP=LARSON-MILLER PARAMETER ; T*(C+LOGTR)
 TTP=A0+A1*S+A2*S**2+ ... +AK*S**K
 C=22.10756 , K=4 , SEE=0.097

TEMPERATURE (C)	350	375	400	425	450	475	500	525
R.S. IN 1000H	(35.82)	32.18	28.10	23.45	18.32	13.53	9.83	(6.40)
R.S. IN 10000H	32.20	27.96	23.09	17.75	12.90	9.22		
R.S. IN 100000H	28.16	23.13	17.58	12.61	8.86			

THE VALUES OBTAINED BY "EXTENDED STRESS EXTRAPOLATION" ARE ENCLOSED IN PARENTHESES.

Fig. 5 An example of display of estimated creep rupture stress

4 結 言

クリープ試験の効率化およびデータの有効利用を目的として開発したクリープデータ処理および試験運用システムについて紹介した。データ処理システムは既に研究開発、材質評価あるいは技術サービス活動に広く利用されている。試験運用システムについても稼動を開始しており、今後その成果が期待される。また、本文で述

べたように本クリープデータベースに用いた RDB (Relational Data Base) は拡張あるいは他のデータベースとの連結が容易であり、今後はクリープカーブに関する情報も取り入れる予定である。さらにクリープ以外の材料データベースとも連結を図り、総合的な耐熱材料データベースを構築しシステムの充実化を図っていく予定である。これらデータベースの充実に加えて材料予測システムの構築が今後の大きな課題であろう。

参 考 文 献

- 1) クリープ強度外挿法分科会: 「ISO に準拠したクリープ破断データ外挿法の手引 (第1版)」, (1983年), [日本鉄鋼協会]