

# 昭和36年度シングルタイプ・クリープ試験機の 標準化に関する研究\*

(クリープ試験機の標準化に関する研究—I)

平 修 二\*\*

## Standardization of the Single Type Creep Tester Research Project in 1961

Shuzi TAIRA

### 1. 結 言

重工業の急速な発展にともない、その動力源たる原動機の性能向上は世界的な要求であり、また化学工業における各種機器も、より高性能、大型化の趨勢にある。この傾向は必然的により高温高圧に耐える耐熱材料の開発とその適当な使用法の解明を要求することになり、耐熱材料のクリープ値はこれら諸問題の基準となるものである。そのため、耐熱材料のクリープは先進各国においても大きな問題として関心を集めている。

クリープ試験は材料試験の中で最も精密なもので、長時間にわたりかつ同時に多数の試験片につき試験を実施する必要があるため、多額の経費を必要とする。このためクリープ試験により得られた材料のクリープ値はきわめて貴重なもので、各国においても数十年にわたってクリープ値の集積に大きな努力が払われてきた。

わが国においては、第2次大戦と戦後の混乱のため、欧米諸国に比してクリープ研究体制において極端な立ち遅れを来し、国際的に見て由々しい問題として認識されるようになり、過去数年間に急速にその試験設備の設置を必要とするようになった。わが国の各所におけるクリープ試験設備の拡充の速度は実に急速であって、約10年以前には国内でわずか数十台であったものが、現在ではすでに2千台に近いものが稼動しているものと思われる。しかし、この数とても日本全体として見ればその必要数をはるかに下回るものである。元来、クリープ試験は一見簡単であるが、上記のごとく、同時に多数本の試験片について、長時間にわたり精密な試験を行なう性質のもので、信頼あるデータを得ることが困難なものである。その結果に影響を与える因子が多く、したがって各所で得られるクリープ値の相互関連性は耐熱材料の強

度判定にとって極めて重要な問題である。わが国におけるクリープ試験設備の設置は前述のごとく急速に進展しつつあるものの、試験機および試験方法に関しては見解の統一を欠き、各所が独自の考えに基づいて試験設備を整えつつあり、将来のために憂慮される状態にあった。

当クリープ試験技術研究組合が昭和36年に設立されるに当たり、その研究テーマとして「クリープ試験機の標準化」が採り上げられたのは、上記のごとき情勢に対処するためであった。クリープ試験機として最も基本的なものはシングル型クリープ試験機であり、また試験実施上の経済性より多少精度を犠牲にしてマルチプル型クリープ試験機も欧州諸国において使用せられていることから、本研究組合の事業が数年にわたる継続事業であることに鑑み、昭和36年度の共同研究題目としては「シングル型クリープ試験機の標準化」昭和37年度の共同研究題目としては「マルチプル型クリープ試験機の標準化」が採り上げられた。ここにいう標準化とは、機械の形態を統一的に規定することではなく、クリープ試験機としての主要な部分についてその機能と経済性を考慮して望ましいあり方を見出すことを目的とするものである。

昭和36、37の両年度にわたって、試験研究の実施は次の機関においておこなわれた。

八幡製鉄株式会社	住友金属工業株式会社
富士製鉄株式会社	株式会社神戸製鋼所
日本鋼管株式会社	株式会社日本製鋼所
川崎製鉄株式会社	日本特殊鋼株式会社

\* 昭和39年4月5日日本会第67回講演大会にて講演  
昭和39年5月25日受付

\*\* クリープ試験技術研究組合技術委員会委員長 工博

## 2. シングル型クリープ試験機の標準化に関する研究

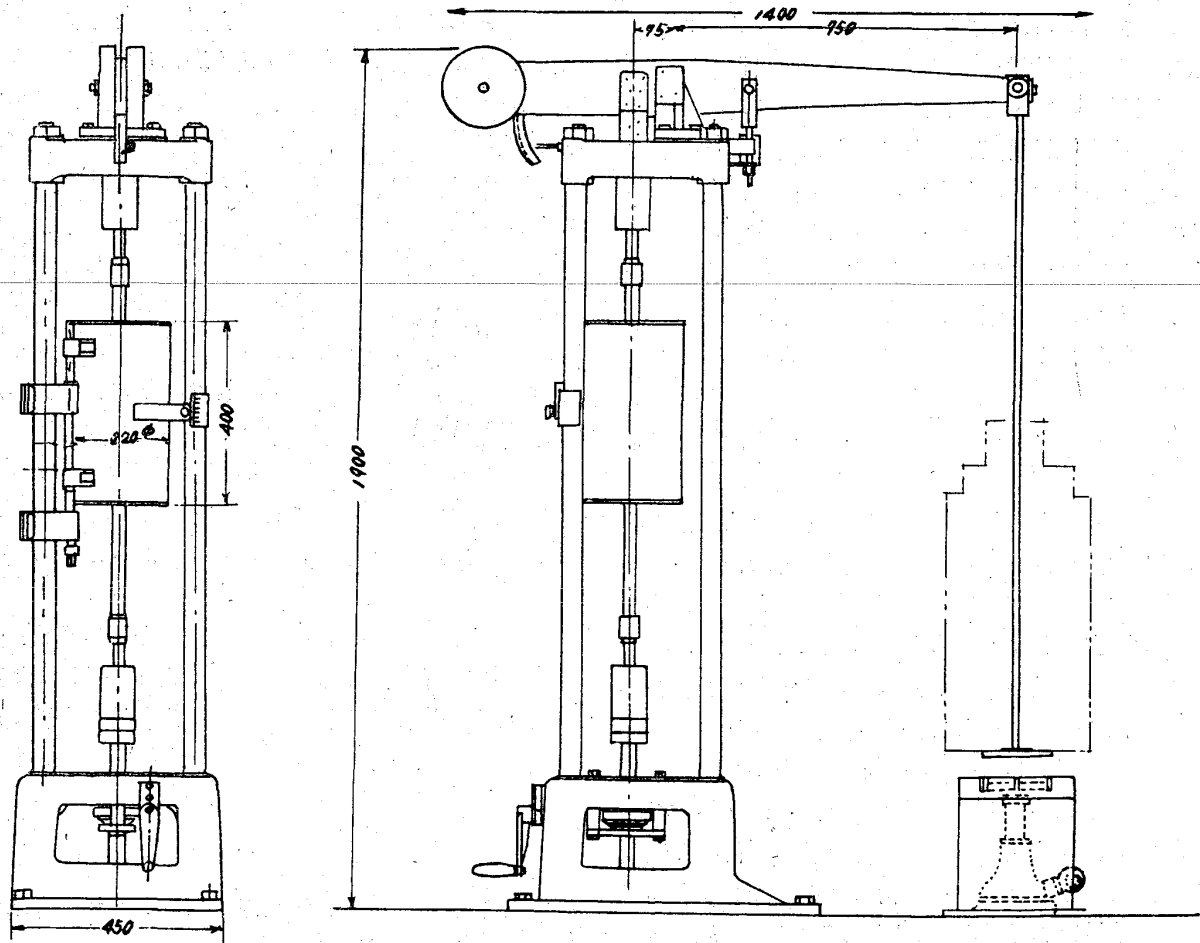
昭和36年度の研究題目として採り上げられたもので、シングル型クリープ試験機について検討を加え、信頼性のあるクリープ試験法の確立をはかり、価格低廉で量産可能な機種標準化の資料を提供することを目的とする。

長時間クリープの試験結果に影響を与える因子は非常に多い。これには試験機自体の問題の外に試験方法、また試験機設置の基礎、建物や電源関係などの関連する条件の影響が考えられるが、本研究の主旨よりして、他の条件の影響は出来るだけ除いて、試験機自体の構造の影響を重視し、国内、国外において採用されている各種試験機の構造を調べ、主要部分について各種の構造のものを試作し、それらを試作試験機に組み入れてその機能を調べるとともに、数種の材料について短時間クリープ破断またはクリープ試験をもあわせ行なって、各種の構造のものの優劣を検討する方法がとられた。

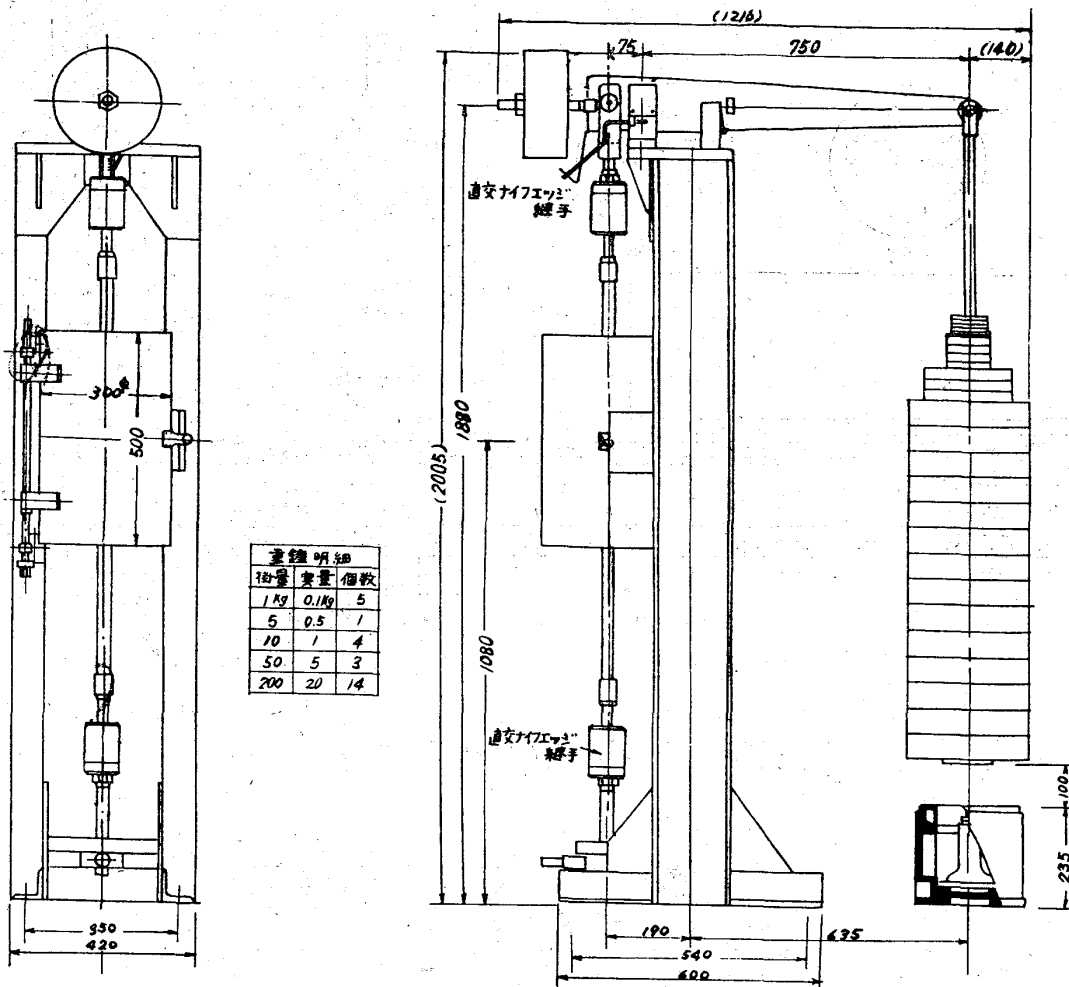
試験機の容量は3tとし、桿秤比は1:10を採用した。クリープ試験機として最も重要なことは試験機本体の剛性であって、このため従来多く用いられている4本柱のものを中心に採用し、一部型鋼溶接のフレームをも採用した。試験機本体の剛性についてはこれによって保証しうが、その他に問題点として1)ジョイント、2)伸び計、3)加熱炉、4)温度調節装置が構造上クリープデータに影響を与えるものと考えられる。また、試験片の寸法および試験温度の時間的変動も試験条件としてクリープデータに影響する主な因子と考えられるので、これらについても、5)寸法効果および、6)温度精度として試験項目に加えられ、これらの6つの項目について、各項目ごとに検討の目的を規定し、試験を実施した。

### 2.1 試験機

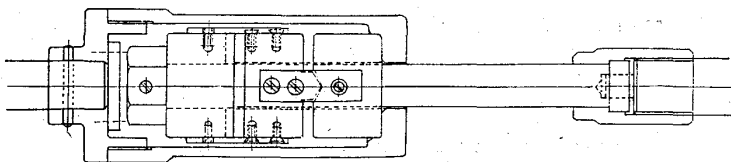
試作した試験機の概略図を第1図および第2図に示す。第1図は4本柱式、第2図は型鋼溶接フレームのものを示す。試作試験機は前述のごとく、経済性を考察して、クリープ試験機としての機能を損わない範囲で単純化を図っているので、本体関係としてはレバーの balan



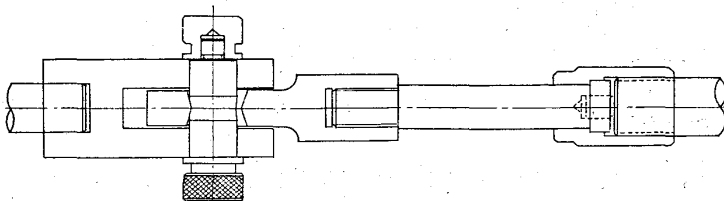
第1図 4本柱型クリープ試験機外観図



第2図 溶接構造型クリープ試験機外観図



第3図 面交叉ナイフ・エッジ部 (標準試験機用)



第4図 ピン・エッジ部

シングウエイトの微動調節装置を除き、またプルロッドは炉内高温部のみ S-816 耐熱材料として他部は 25Cr-20Ni 鋼および普通鋼とした。

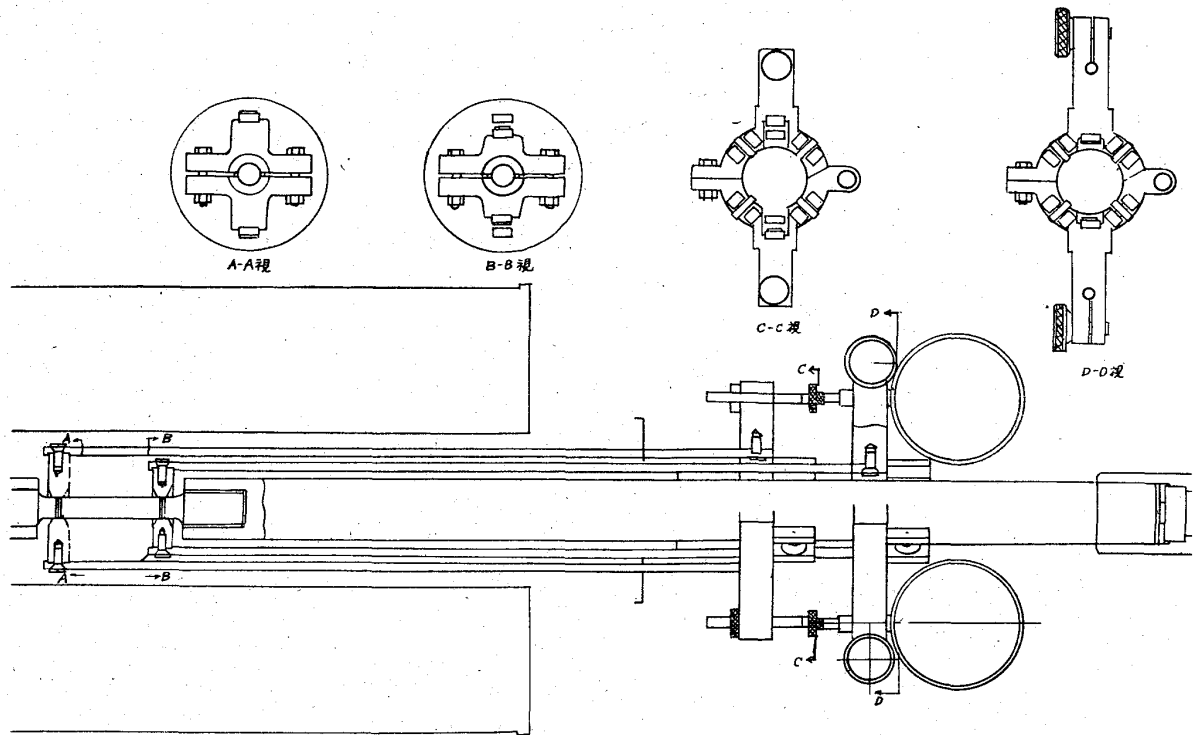
試験機としての主要点であるジョイント、加熱炉、温調および伸び計については、各種のものについて比較検討するために、試験項目として取りあげてあるが、一応比較の対象として標準試験機を仮に定めた。これにはシ

ョイントとしてナイフエッジ、また加熱炉は筒型普通寸法 (220mm φ) で3分割電気回路のもの、温調はプロッサーまたはサーミスタ式、伸び計は1/100 または 1/1000mm 目盛のダイヤルゲージ方式で、試験片への引出棒の取付は凸起式とし、熱電対は Pt-PtRh の 0.5mm φ × 100mm を採用し、試験片の上, 中, 下に取り付け、測温は精密型ポテンシヨメーターを用いることにした。別に監視用として12点式電子管方式温度記録装置により測温を自記記録させた。

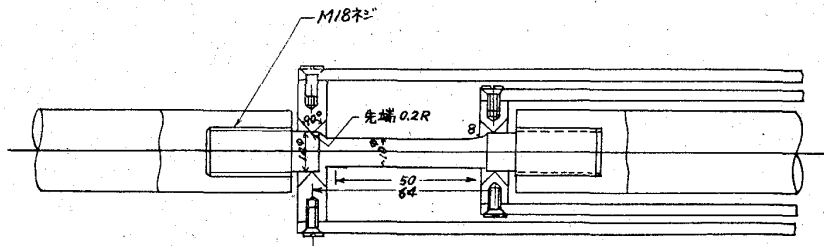
第3, 4図はジョイントの構造を示したもので第3図は標準試験機用面交叉ナイフエッジ部、第4図は比較のためのピンエッジ部を示す。

第5~7図は伸び計取り付け方法を示し、第5図は標準試験機用凸起式伸び計の取り付け状況を示す。第6図第7図はそれぞれ比較のためのカラー式およびエッジ式伸び計の取り付け部を示し、これらの方式にしたがって試験片の伸び計取り出し棒の取付け部分が異っている。

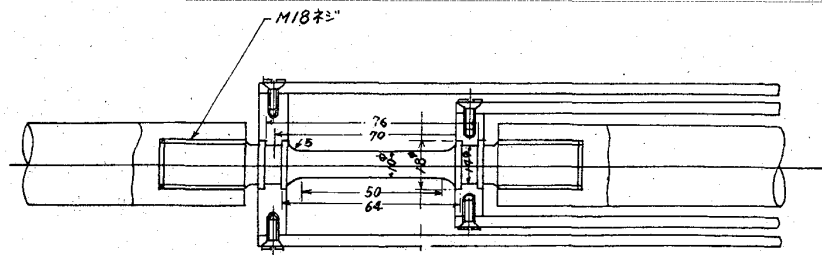
第8~10図は電気炉を示す。第8図は標準試験機用普



第 5 図 凸起式伸び計 (標準試験機用)



第 6 図 カラー式伸び計



第 7 図 エッジ式伸び計

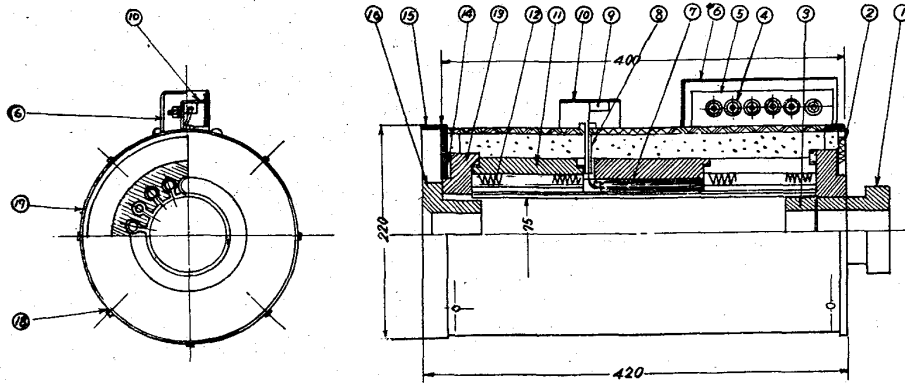
通寸法筒型炉, 第 9 図および第 10 図はこれと比較のための普通寸法割型炉ならびに大型寸法筒型炉を示す。

第 11~14 図は温調用電気回路図で, 第 11 図および第 12 図は標準試験機用のプロッサーおよびサーミスター式回路, 第 13 図および第 14 図は, 比較のための発振式温調電気回路ならびにリアクター式温調電気回路を示す。

### 2.2 試験材料

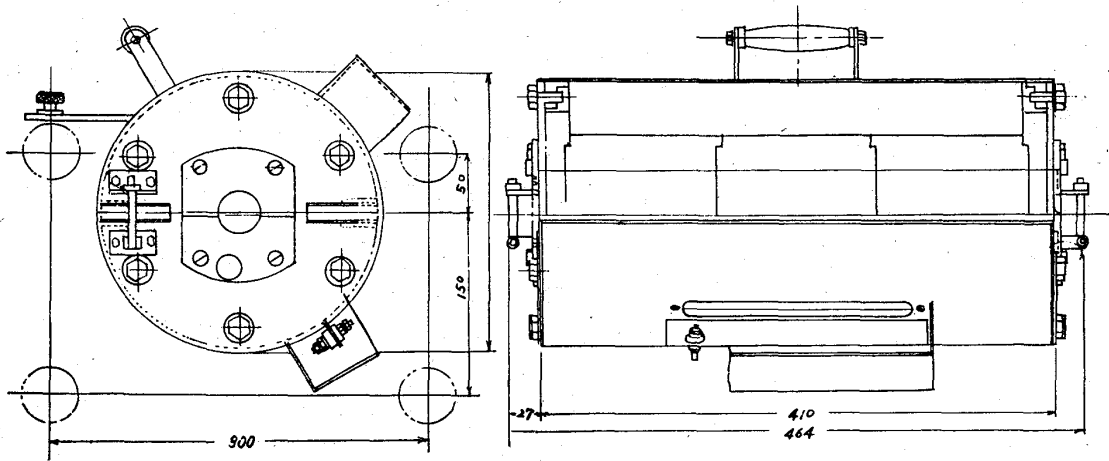
本研究においては試験機の性能を検討するため, 短時間クリープおよびクリープ破断試験が実施せられた。ク

リープ試験を必要とする材料はそのほとんどが 400~800 °C で使用されるので, この範囲のクリープ試験に適する材料として炭素鋼 (S15C) (試験温度 450 °C), Cr-Mo 鋼 (2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼) (550 °C) および 18-8 ステンレス鋼 (700 °C) が選ばれた。この他に, 伸び計の常温における検討のためにアルミニウムも用いた。これらの材料の溶解履歴, 化学成分, 試験片採取履歴, 熱処理, 常温機械的性質および顕微鏡組織ならびに結晶粒度を以下に示す。

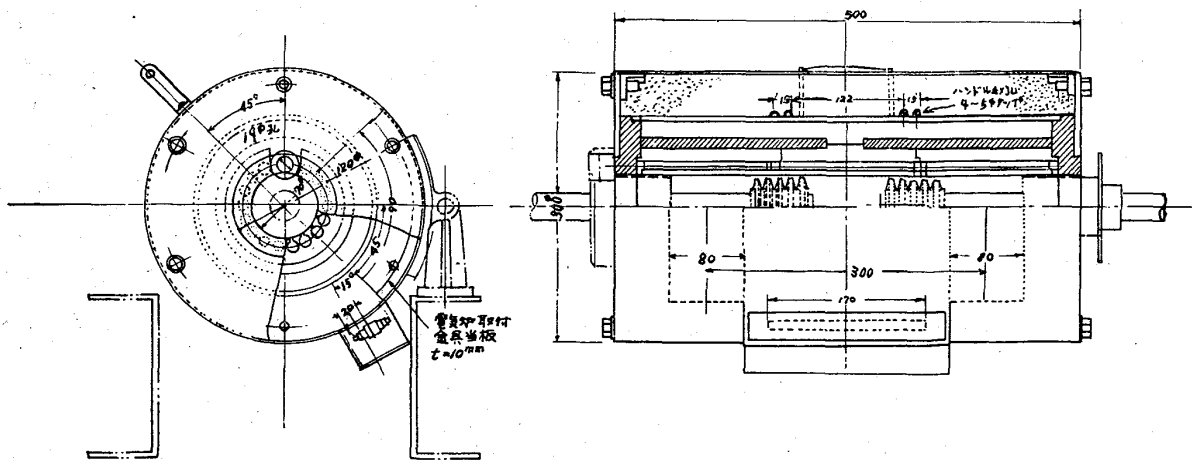


- |       |     |         |          |            |              |      |
|-------|-----|---------|----------|------------|--------------|------|
| ① 下部炉 | 下部炉 | 耐火材     | 白金線検出器   | 保護パイプ入     | ⑬ 炉口リング      | 耐火材  |
| ② 下部  | 下部  | 鉄イモノ    | 検出器口線    | ステンレス加工    | ⑭ アスベスト板     |      |
| ③ 加熱  | 加熱  | 耐火材     | 検出器接続端子  |            | ⑮ 上部アスベスト盛フチ | 鉄イモノ |
| ④ 端子  | 端子  | 鉄1.8mm厚 | 検出器端子カバー | 鉄1.4mm厚    | ⑯ 上部炉        | 耐火材  |
| ⑤ 端子  | 端子  | 1.4mm厚  | 検出器端子    | 耐火材        | ⑰ 炉筒         |      |
| ⑥ 端子  | 端子  |         | 検出器端子    | ニクロム線1.4mm | ⑱ 炉筒止ビス      |      |
|       |     |         | ⑪ 炉芯     |            |              |      |
|       |     |         | ⑫ 炉熱体    |            |              |      |

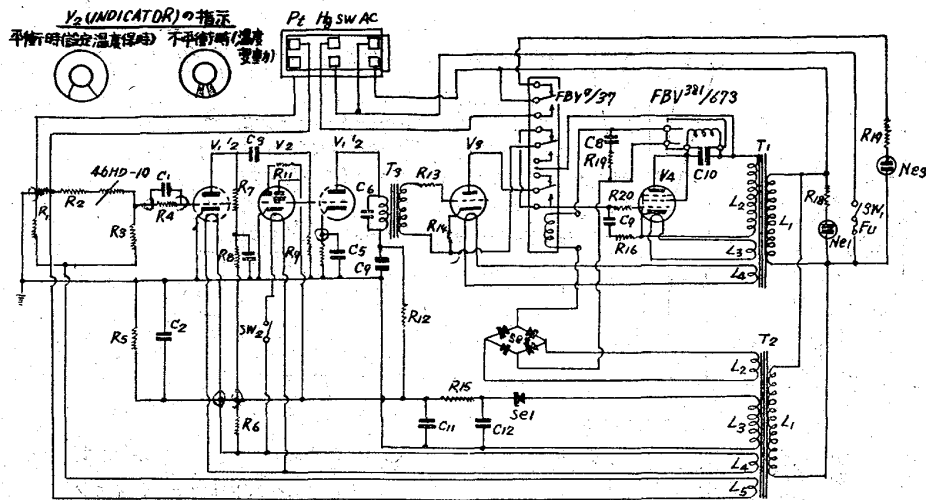
第8図 普通寸法筒型炉



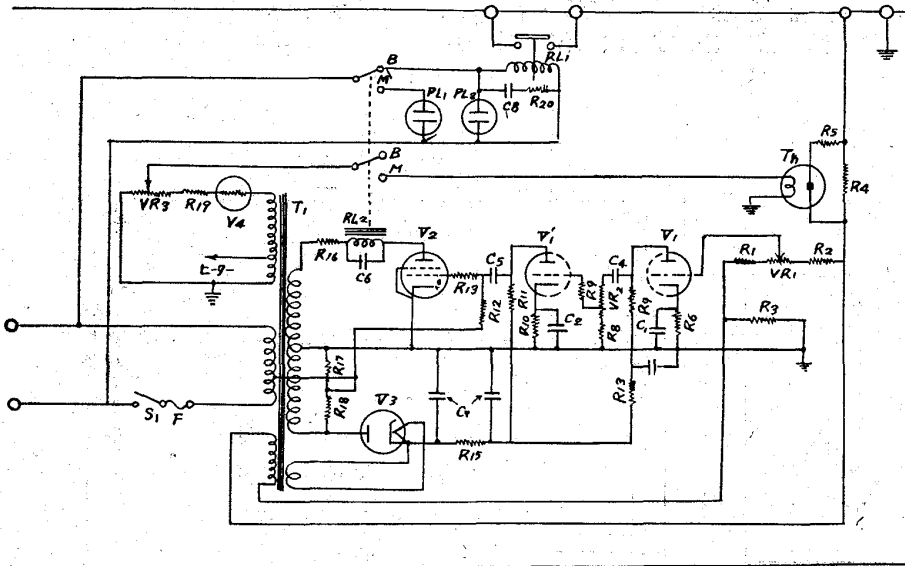
第9図 普通寸法割型炉



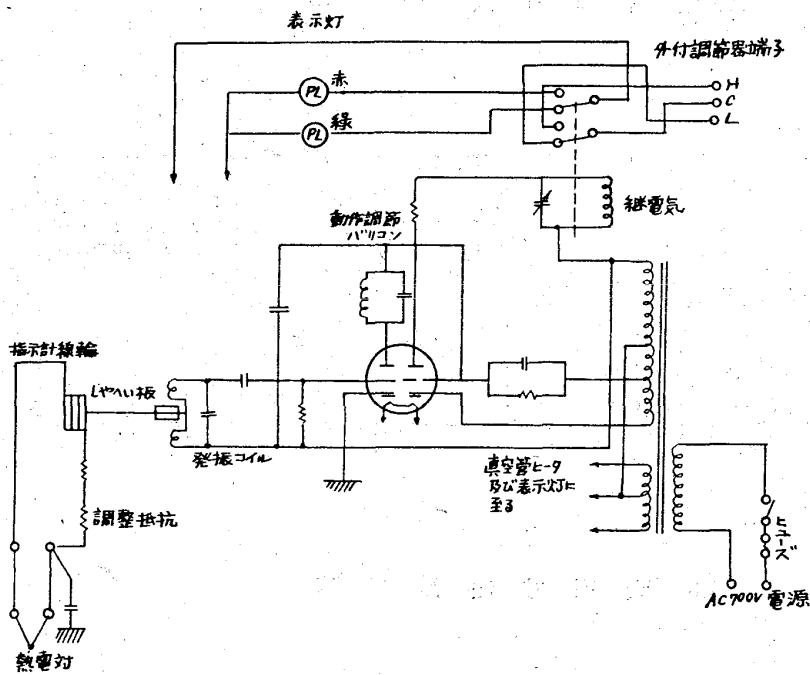
第10図 大型寸法筒型炉



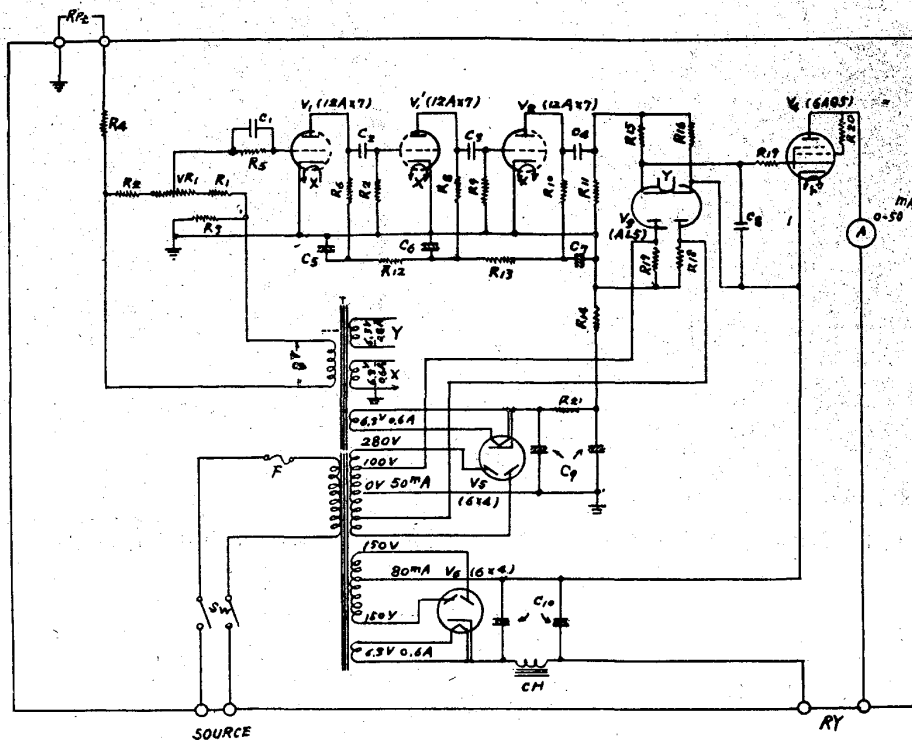
第 11 図  
プロッサ-式温調回路図



第 12 図  
サーミスター式温調回路図



第 13 図  
発振式温調回路図



第14図 リアクター式温調回路図

2.2.1 炭素鋼

- a. 製造所 八幡製鉄株式会社
- b. 溶解

炉種類	溶解量	インゴットの大きさ	脱酸条件
電気炉	1 t	250kg	Al 1000 g/t 添加

c. 化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S
0.17	0.27	0.53	0.012	0.013
Cu	Sol. Al	insol. Al	N	
0.12	0.003	0.006	0.0057	

d. 試験片素材採取履歴

溶解 → 造塊 → 鍛造 → 熱延  
 1t電気炉 鋼塊250kg 96φ×2400mm 22φ×1mm

e. 試験材熱処理

750°C/hr  
 900°C, 1hr → 450°C, A.C.

f. 常温機械的性質 (JIS 4号試験片)

(i) 引張性質

上降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	下降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸び%	絞り%
28.6	24.8	43.4	36.7	57.8

(ii) 衝撃強さ (JIS 4号試験片)

シャルピー衝撃値 (V-notch) 平均値 4.0

(iii) 硬さ

ロックウエルBスケールで各試験片素材の硬さを測定した。測定は試験片素材の中央を直径で4mm旋削し、測定面をグラインダーで若干落して水平面を出し、5点の測定を行ない平均値をとった。測定値は61.6を平均値として±1.6の範囲内であった。

g. 顕微鏡組織 (写真1)

h. 結晶粒度 JIS No. 3.5 (オーステナイト粒度)

2.2.2 Cr-Mo 鋼

- a. 製造所 日本鋼管株式会社
- b. 溶解

炉種類	溶解量	インゴットの大きさ	脱酸条件
電気炉	10 t	5.6 t	Al 53g/t 添加

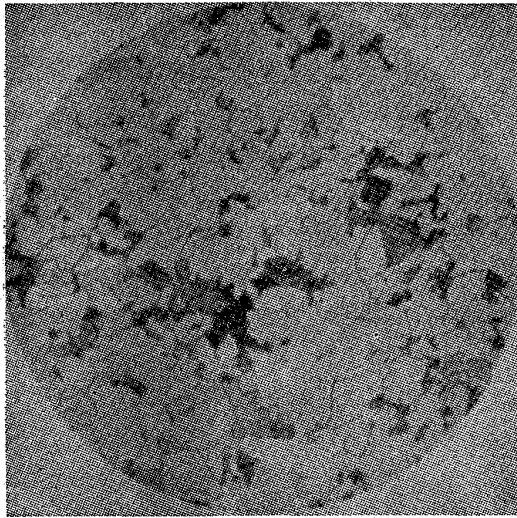


写真1 Nital 腐食 ×100 (1/1)

## c. 化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.08	0.24	0.44	0.010	0.007	2.29	0.90

## d. 試験片素材採取履歴

溶解 → 造塊 → 鍛造 → 熱延  
 10t 電気炉 鋼塊 5.6t 抽出1200°C(推定) 抽出1200°C(推定)  
 100φ×1600mm 仕上約900°C  
 19φ×5500mm

## e. 試験材熱処理

シリコニット加熱炉 → 30°C/hr  
 925°C, 40min, F.C. (3回に分けて処理)

## f. 常温機械的性質

## (i) 引張性質 (JIS 4号試験片)

降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸び(%)	絞り(%)
24.9	46.8	39.9	82.4

## (ii) 衝撃値 (JIS 3号試験片)

シャルピー衝撃値 kg·m/cm<sup>2</sup>(V-notch)  
 平均値 21.4

## (iii) 硬さ (HrB)

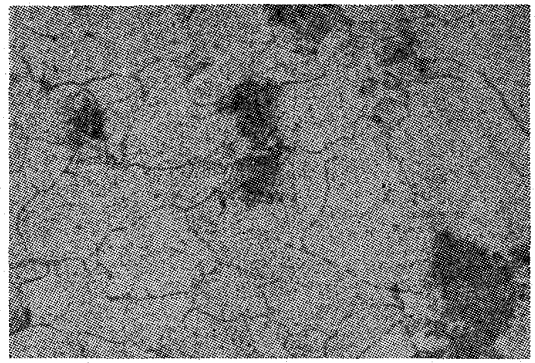
硬さは3熱処理ロッドについて各3測定を行ない、各ロッドについて平均 74.4, 73.8, 74.2 となり総平均 74.1 であった。

## g. 顕微鏡組織 (写真2)

## h. 結晶粒度 JIS No. 4.8 (オーステナイト粒度)

2.2.3 18-8 ステンレス鋼

## a. 製造所 日本特殊鋼株式会社



×200(4/5)

写真2 5% 硝酸アルコール溶液腐食

## b. 溶解

炉種類	溶解量	インゴットの の大きさ	脱酸条件
エール式電気炉	11.1 t	400 kg φ	Ca-Si 40 kg Al 4 kg Si 60 kg

## c. 化学成分

C	Si	Mn	P
0.08	0.47	0.91	0.026

S	Cr	Ni	Cu
0.010	18.77	10.10	0.08

## d. 試験片素材採取履歴

溶解 → 造塊 → 圧延 → 圧延  
 電気炉 鋼塊 400kg 800mmφ 22φ×2500mm

## e. 試験材熱処理

22φ×2500mmの素材30本を束ねて工場熱処理炉にて下記熱処理を行なった。  
 1100°C/hr → W.Q.

## f. 常温機械的性質

## (i) 引張性質 (JIS 4号試験片)

降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸び(%)	絞り(%)
23.1	59.3	66.7	75.0

## (ii) 硬さ

熱処理後の素材30本の中10本について、素材の中心および一端より長さ160mmの試料をとり出し、これの中央部について炭素鋼と同様の方法にてロックウエルB硬さを測定した。測定値は 78.0±0.86 であった。

## g. 顕微鏡組織 (写真3)

## h. 結晶粒度 JIS No. 3.5 (オーステナイト粒度)





×400(4/5)

写真3 マーブル溶液(硫酸銅の塩酸溶液)にて腐食

2.2.4 アルミニウム

- a. 製造所 株式会社神戸製鋼所
- b. 溶解

炉種類	溶解量	ピレットの大きさ
反射炉	不明	190φ×250mm

c. 化学成分(%)

Cu	Si	Fe	Mn	Zn	Mg	Al
tr	0.12	0.58	tr	tr	tr	99.3

d. 試験片素材採取履歴

溶解 → 鑄塊切断 → 押出  
 ピレット 190φ×250mm 22φ×1mm

e. 試験材熱処理

350°C, 6hr

f. 常温機械的性質

- (i) 引張性質 (JIS 4号試験片)

0.2%耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び(%)	絞り(%)
5.6	10.1	47.9	89.5

(ii) 硬さ

22φ×2000mmの素材の中央部および端部を採取し、平行部間18mmの試験片とし、平行部をパーパー仕上して、ロックウエルHスケール(1/8"鋼球, 60kg)硬さを測定した。測定値の平均は53.1であった。

2.3 試験項目の検討

2.3.1 ジョイントの検討

(i) 目的 両交叉ナイフエッジとピンエッジの両種のジョイントについて、主としてその荷重精度と捩れに対する感度を比較検討し、両者のクリープあるいはクリープ破断試験結果におよぼす影響を調べる。

(ii) 検討内容

- a) 両ジョイントの荷重感度の比較
- b) 100hrクリープ試験によるクリープ速度の比較

(iii) 試験

a) 試験材および試験片

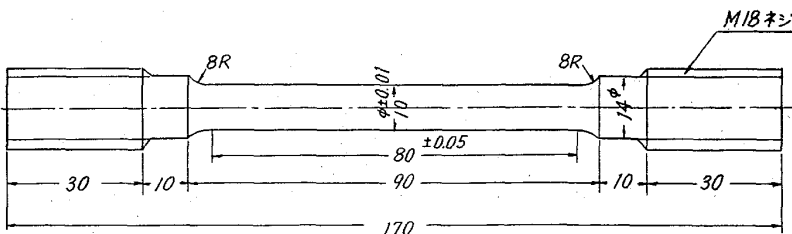
本試験項目の検討にはCr-Mo鋼を用いた。第15図は常温において行なうジョイント検討用試験片、第16図は550°C, 100hrクリープ試験用試験片である。

b) ねじりの測定

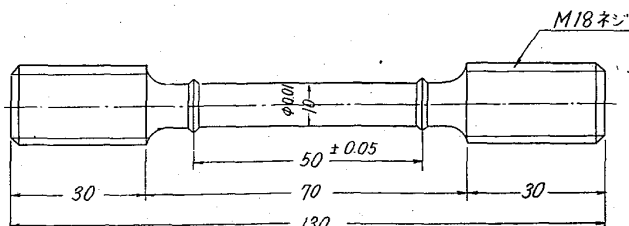
第17図に示すように試験片平行部に抵抗線歪計を貼りつけて捩りを測定した。測定は各ジョイントの向きを45°変え、当りを3回変えて行なった。負荷は予備荷重として50kgをかけ、後100kgづつ増して800kgまで上げ、荷重の増加および減少過程に測定を行なった。

c) 曲りの測定

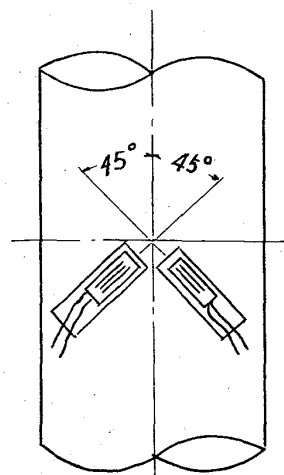
試験片の平行部対向面に抵抗線歪計を貼りつけるとと



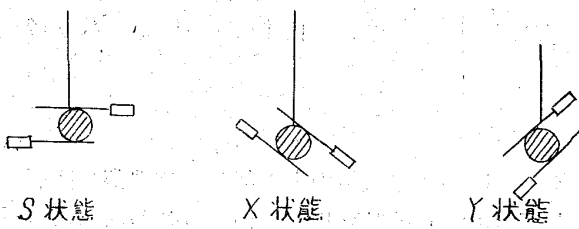
第15図 ジョイント検討用試験片寸法



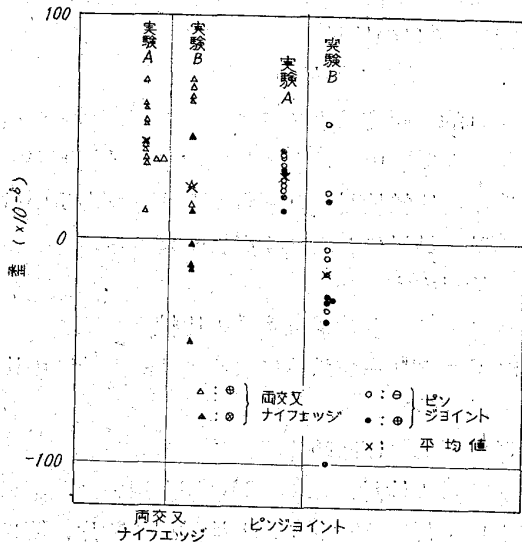
第16図 100 hr クリープ試験用試験片寸法



第17図 ストレインゲージのはりつけ方



第18図 マルテンス歪計の取付け



第19図 ねじりの検討

もに、マルテンス伸計により第18図の要領で曲りの測定を行なった。負荷条件は振りの場合と同じである。

d) 荷重感度試験

荷重検定器(環状圧縮型力計)を用い、300kg 負荷でダイヤルゲージの最小目盛(1/100mm) が動くに要する荷重を両ジョイントで求めた。

e) 100 hr クリープ試験

ピンジョイントおよび両交叉ナイフエッジジョイントを用い、550°C、10.0kg/mm<sup>2</sup> 同一条件で100hrまでのクリープ試験を行なった。

(iv) 試験結果

a) ねじり歪の検討 最大荷重 800kg のもとに検出された各ジョイントに対するねじり歪を第19図に示す。図に見るごとく結果のばらつきがあり、これはジョイントの方向、当りなどが歪に大きく影響を与えていることを意味する。しかし、いずれにしても両ジョイントともに振り歪は小さく実験実施上問題とするに足りない。

b) 曲り歪の検討 試験片の取り付け方によって曲り歪が出ることはさげられないが、実施した試験のすべての場合において同様な傾向となり、ジョイントの種類および向きによって曲り歪の傾向が変わることはない。

c) 荷重感度 荷重検定器を用いて 3000kg 負荷した

場合、そのダイヤルゲージの最小目盛 1/100mm動くに要する荷重を荷重感度として表わすと次のごとくなる。

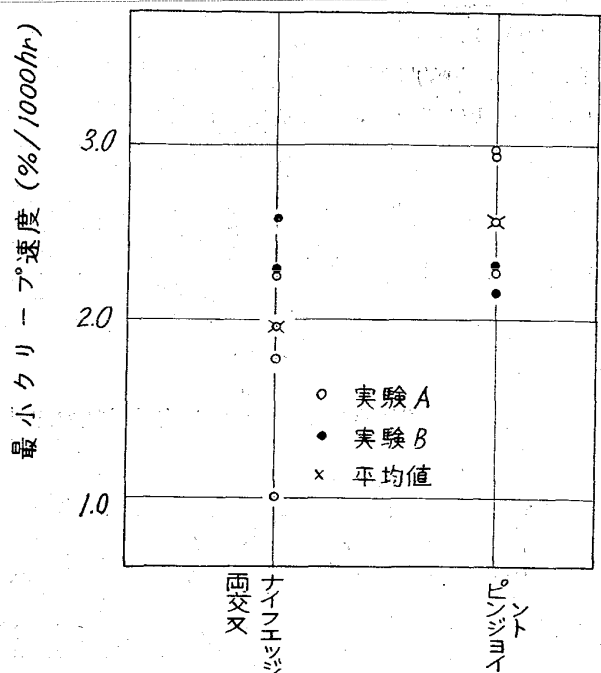
ジョイントの種類	実験1	実験2
両交叉ナイフエッジジョイント	6.6kg	6.5kg
ピンジョイント	6.6kg	6.5kg

上記のごとく用いたジョイントの種類によって荷重感度に差はなく、平均して 6.55kg となり、この値は直径 10mmの試験片の場合の応力0.08kg/mm<sup>2</sup>に相当する。

d) 100 hr クリープ試験 Cr-Mo 鋼を用いて550°Cで 10.0kg/mm<sup>2</sup>を負荷して短時間クリープ試験を行ない、両交叉ナイフエッジとピンエッジジョイントの差によるクリープ試験値の差を検討した。瞬間伸び、%指定時間(0.1, 0.2, 0.5% 伸び) 最小クリープ速度および残留歪をそれぞれの場合について測定した。実験結果のうち、最小クリープ速度についての結果を第 20 図に示す。実験結果には、かなりのばらつきがあり、いずれの測定結果も同様な傾向を示し、この実験結果の示す範囲では両ジョイントの種類によって優劣を判定することはできなかった。

(v) 総括

両交叉ナイフエッジとピンエッジジョイントの比較のため、Cr-Mo 鋼試験片を用い、常温においてねじり歪、曲り歪、荷重感度の測定を行ない、550°Cにおいて 100 hr クリープ試験を行なった結果、実験の範囲内において両ジョイントによって実験結果に有意差は認められなかった。したがって、同じ機能をもつものとすれば構造



第20図 最小クリープ速度

は簡単なピンエッジジョイントを採用するのが有利であると結論される。

2.3.2 伸び計の検討

(i) 目的

伸び計の取り付け方として(i)試験片標点部のつばに固定する方法(凸起式), (ii)試験片の掴み部にカラー部をもうけてこれに固定する方法(カラー式), および(iii)掴み部にエッジによって固定する方法(エッジ式)の3種につき伸び測定精度を比較検討し, 3者のクリープ試験結果におよぼす影響をしらべて, クリープ伸び測定具および試験片伸び計取付部の標準化の資料とする。

(ii) 検討内容

a) 常温における応力-ひずみ曲線による検討

Cr-Mo 鋼試験片に常温で負荷し, 弾性の範囲内で負荷を増減し, ダイアルゲージ方式の凸起式, カラー式およびエッジ式各伸び計で測定したひずみによって画かれる応力-ひずみ曲線と, 基準として採用したマルテンス式伸び計方式凸起式伸び計で測定したひずみとの間に画かれる応力-ひずみ曲線と比較検討する。

b) 100 hr クリープ試験による検討

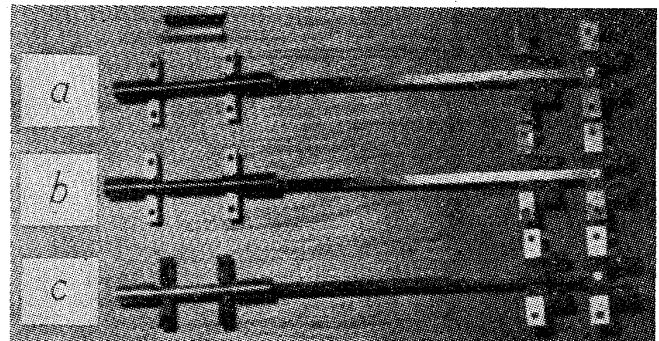
アルミニウム, Cr-Mo 鋼および 18-8 ステンレス鋼について, それぞれ室温, 550°C および 700°C で 100 hr クリープ試験を行ない, ダイアルゲージ方式, 凸起

式, カラー式およびエッジ式伸び計で測定したクリープ曲線と, マルテンス式伸び計方式凸起式伸び計で測定したクリープ曲線を比較検討する。

(iii) 試験

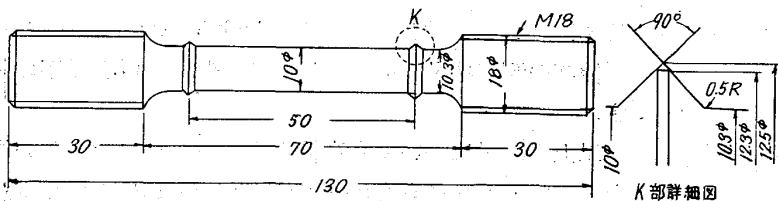
a) 試験材および試験片

検討内容 a) の項目に対しては Cr-Mo 鋼を用い, マルテンス式伸び計を用いる基準試験には第15図と同一形状の試験片を用い, ダイアルゲージ方式凸起式, カラー式およびエッジ式伸び計用には第21~23図の形状の試験片を各1本用いた。検討内容 b) の項目に対しては第21図, 第22図, 第23図の形状の試験片をアルミニウム, Cr-Mo 鋼および 18-8 ステンレス鋼について各1本あ

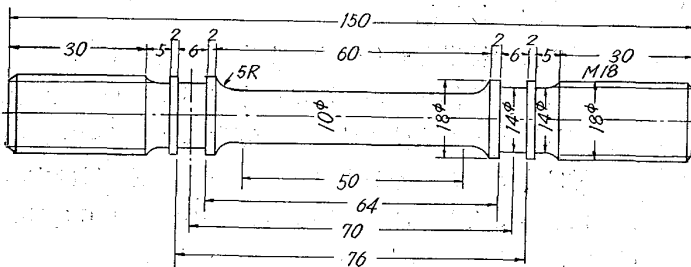


a) エッジ式伸び計, b) カラー式伸び計  
c) 凸起式伸び計

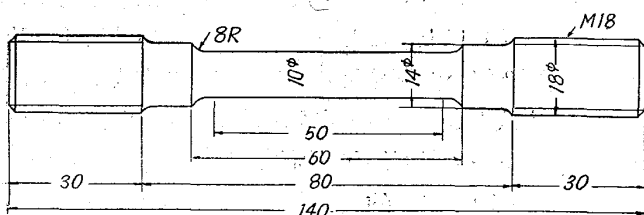
写真4 各種伸び計



第21図 高温マルテンス式伸び計用および凸起式伸び計用試験片



第22図 カラー式伸び計用試験片



第23図 エッジ式伸び計用試験片

て用い, また, マルテンス伸び計方式凸起式伸び計用には第21図の形状の試験片を上記3種の材料で作製して試験した。各試験片に対する伸び計取出棒の組合わせの状況を写真4に示す。

b) 試験方法

検討内容 (a) 各種伸び計をそれぞれに試験片にとりつけ, クリープ試験機にセットして 50 kg を初荷重として 100 kg づつ 850 kg まで荷重を増加し, それぞれの荷重に対する伸びを読み, 応力-ひずみ曲線を作製する。なお, 各試験片には, その平行部中央に抵抗線歪計を対向位置に2枚貼りつけ, これによる伸び測定値をとって参考とした。

検討内容 (b) ーアルミニウム試験片に対しては常温, 5.0 kg/mm<sup>2</sup>, Cr-Mo 鋼試験片に対しては 550°C, 10.0 kg/mm<sup>2</sup>, 18-8 ステンレス鋼に対しては 700°C, 5.0 kg/mm<sup>2</sup> を与えて 100 hr クリープ試験を行なう。

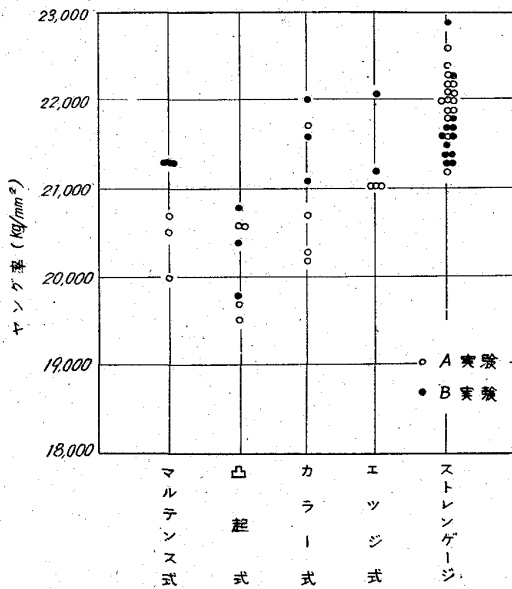
(iv) 試験結果

a) 常温における応力-ひずみ曲線の検討

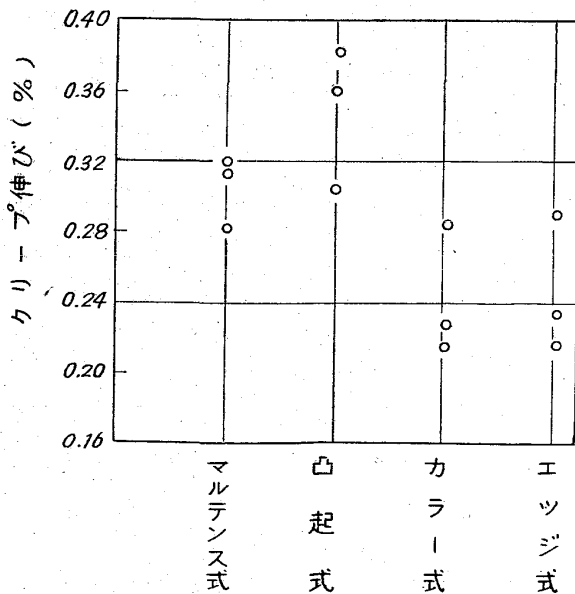
試験結果は常温ヤング率を求めて整理された。結果を第24図に示す。図に見るごとくそれぞれの種類の伸び計で測定したヤング率は、マルテンス式伸び計で求めた値に比し、凸起式の場合は若干低く、カラー式およびエッジ式の場合は若干高く、参考に求めた抵抗線歪計による場合はさらに若干高い傾向となった。これらの結果について有意差判定を行なった結果、各種伸び計の間には有意差は認められなかった。

b) 100hr クリープ試験による検討

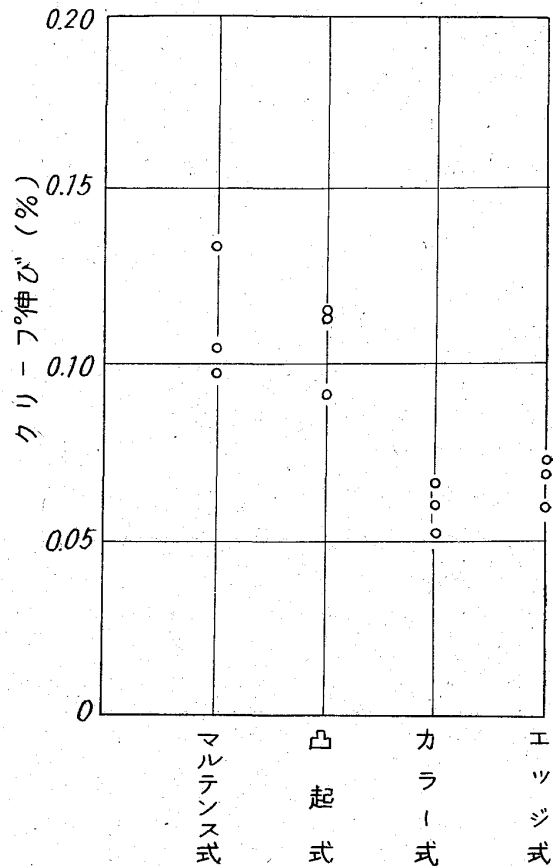
各材料について 100hr クリープ試験を行ない、100hr におけるクリープ伸びおよび最小クリープ速度を求めた。実験結果の例として、Cr-Mo 鋼の 550°C および



第24図 各種伸び計によって求めたヤング率



第25図 Cr-Mo鋼, 550°C 各種伸び計による 100hr クリープ伸びの比較



第26図 18-8ステンレス鋼, 700°C 各種伸び計による 100hr クリープ伸びの比較

18-8 ステンレス鋼の 700°C における 100 hr のクリープ伸びの測定結果をそれぞれ第 25 図および第 26 図に示す。

以上の結果について有意検定を行なったが、いずれの場合についても 5% 有意水準で伸び計の種類によって有意差はないとの結論を得た。

(v) 総括

以上の結果を取り纏めると次のようになる。

- a) 各種伸び計の間には有意差がないと考えてよい。
- b) エッジ式伸び計による測定では、試験片への取り付け方による誤差が大きく、かつその取り付け方の不備によって大きなひずみ値を与えるので、使用上問題がある。
- c) 伸び読み取り方式としてのダイヤルゲージ方式はマルテンスミラー方式に比し精度上遜色はない。
- d) 以上のことから、クリープ試験用伸び計としては取り扱いが簡易なダイヤルゲージ方式でよく、取り付け方式としては凸起式またはカラー式が推奨される。

2.3.3 加熱炉の検討

(i) 目的

加熱炉の精度すなわち炉内の温度分布 (試験片の均熱

状況)が加熱炉の寸法,形式によって如何に影響されるかを検討する。

(ii) 検討内容

第8~10図に示した3種類の炉を用いて,次の項目の検討を行なう。

- a) 試験片の温度分布の検討
- b) 100 hr クリープ試験による検討

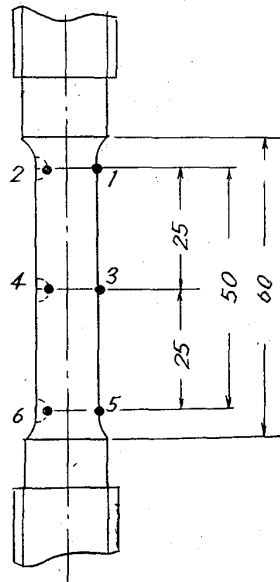
(iii) 試験

a) 試験材および試験片

炉内の試験片の温度分布測定には 18-8 ステンレス鋼で第23図の試験片, 100 hr クリープ試験には炭素鋼, Cr-Mo 鋼および 18-8 ステンレス鋼で第21図の試験片を用いた。

b) 試験方法

検討内容 a): 試験片の温度分布測定のために, 第27図に示す個所に熱電対をとりつけた。表面くくりつけは, 熱電対接合部をニクロムの細線で規定の位置にくくりつけ, 輻射熱を防ぐためさらにその周囲をアスベスト線で巻いたものである。また埋込みは, 試験片表面規定の位置に2mm φ, 深さ2mmの孔をあけ, 熱電対をこの孔に埋込み, アスベストで固定し, さらにニクロム細線で巻いたものである。



第27図 熱電対の取付け位置  
 { 1 3 5 表面くくりつけ  
 { 2 4 6 埋込み

試験片取付に際しては炉の中心に位置するよう十分注意が払われ, 昇温時の均熱は JIS 2271 によった。試験期間中は日中は 12hr にわたって 1 hr ごとにポテンシオメーターにより温度測定が行なわれ, 夜間は自動記録を行なった。なお, 試験期間中の試験機近傍の室温の変動を測温のたびに記録し, また電源電圧の変動も 1 日 2 回記録した。

検討内容 b): 熱電対は試験片平行部の上, 中, 下の3カ所にくくりつけて試験中の温度を監視した。各材料の試験片に対し, 試験温度, 負荷応力は次の通りである。

材 質	試験温度(°C)	試験応力 (kg/mm <sup>2</sup> )
炭 素 鋼	450	10
Cr-Mo 鋼	550	10
18-8 ステンレス鋼	700	5

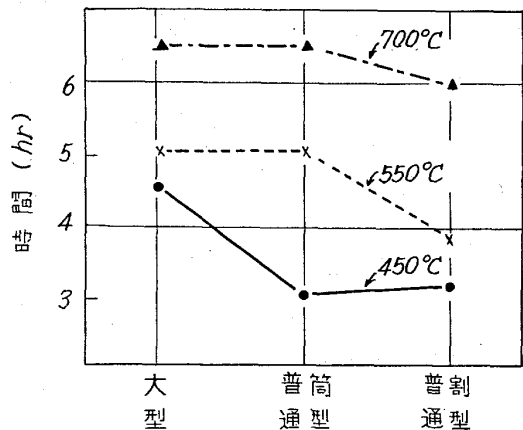
100 hr におけるクリープ伸び, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 および 5 % 伸びの時間を記録した。

(iv) 試験結果

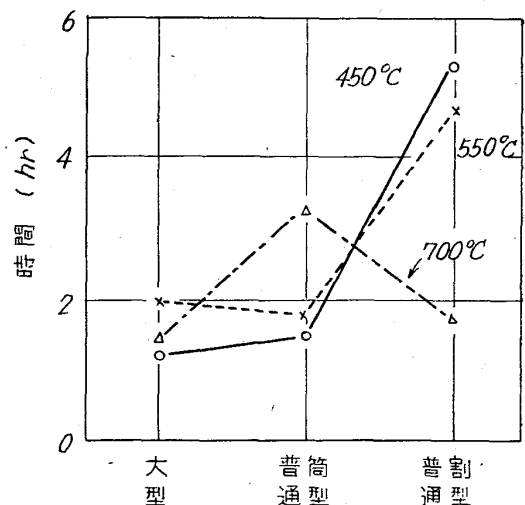
a) 試験片の温度分布の検討

熱電対を試験片表面にくくりつけた場合と埋込みの場合とでは測定値にごくわずかの差が認められるが, 両者によって求めた温度分布の傾向は, 大型寸法筒型炉, 普通寸法筒型炉, 普通寸法割型炉ともほとんど変わらない。

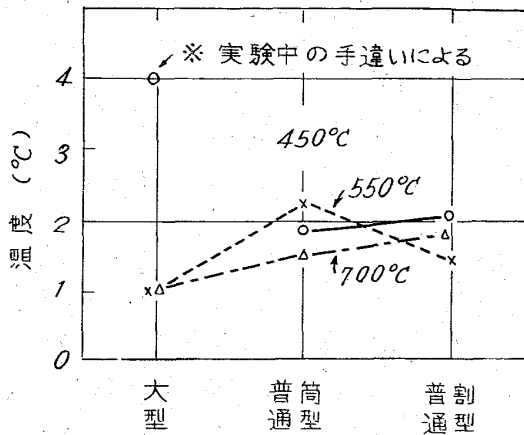
加熱炉型式を温度設定の容易さと温度分布の2つの観点より比較するために, 試験結果を取り纏めたのが第28~31図である。第28図は昇温を開始してより試験温度に達するまでの時間を比較したもので, 加熱所要時間は大型寸法筒型炉, 普通寸法筒型炉, 普通寸法割型炉の順に短くなっている。第29図は温度設定の容易さを試験温度に達してから全測定点を±1°C以内を設定できるまでの時間を比較したもので, 大型寸法炉が最も温度設定に



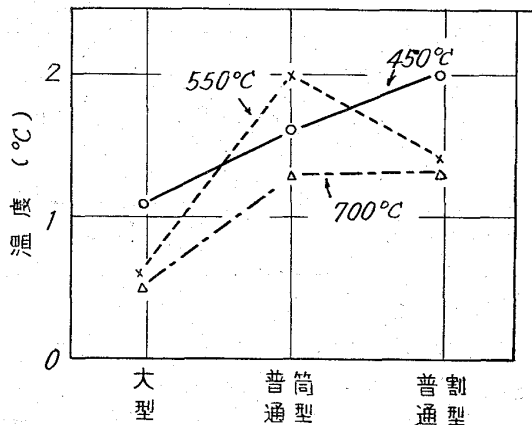
第28図 試験温度に達するまでの時間



第29図 試験温度に達してから±1°C以内の設定に要した時間



第30図 試験中の温度変動



第31図 試験中標点間の最大温度差

要する時間が短かく、普通寸法割型炉が最も長くかかる。第30図は試験中の時間的な温度変動を示したもので変動は大略 1~2°C の範囲にあり、大型寸法筒型炉の温度変動が他の型式の炉に比して若干小さい。第31図は試験中の標点間の最大温度差について比較したもので、大型寸法筒型炉の標点間の温度差が最も小さく、普通寸法では筒型炉および割型炉ではほとんど差がない。

#### b) 100 hr クリープ試験による検討

本実験においては試験応力が低く変形量はわずかであったが、この場合、室温変動による伸計の伸縮が測定伸び量に影響を与えるために、クリープ曲線にばらつきが観られたが、各温度とも炉型式による伸びの差はほとんど認められない。

#### (v) 総括

試験片の温度分布に関しては大型寸法筒型炉が最も精度よく、時間的な温度変動および測定点間の温度差も小さい。普通寸法筒型炉と普通寸法割型炉は精度はやや劣るが JIS 規定内にはいっている。両者では温度変動には差は認め難いが、後者の方が温度設定に要する時間の大きい場合もあり、不安定ともいえる。したがって普通寸法

では筒型の方が勝れている。

100 hr クリープ試験によっては炉型式の優劣は判定し難い。

#### 2.3.4 温度調節装置の検討

##### (i) 目的

現在多く市販されている試験機の温調に採用されているサーミスタ式およびプロッサー式、構造が比較的簡単な発振式およびリアクター式温調装置について、主として時間的な温度変動の比較検討を行ない、4者のクリープ試験結果におよぼす影響をしらべ、標準温調装置選定の資料を得る。

##### (ii) 検討内容

- a) 無負荷 100hr 試験温度測定
- b) 100hr クリープ試験による検討

##### (iii) 試験

###### a) 試験材および試験片

無負荷 100 hr 加熱試験には 18-8 ステンレス鋼試験片を装入し、100 hr クリープ試験には炭素鋼(450°C)、Cr-Mo 鋼(550°C)および 18-8 ステンレス鋼(700°C)を用い、試験片形状はいずれも第16図のものである。

###### b) 試験方法

無負荷 100 hr 加熱試験では設定温度を 450°C、550°C および 700°C の 3 温度とし、日中は午前 8 時より 12 hr を 2hr おきに試験片温度(平行部上, 中, 下の 3 点)を測定、同時に電源電圧および室温の測定をも行なった。ただし、100hr の中、24 hr は 2hr 置き連続測定を行なった。

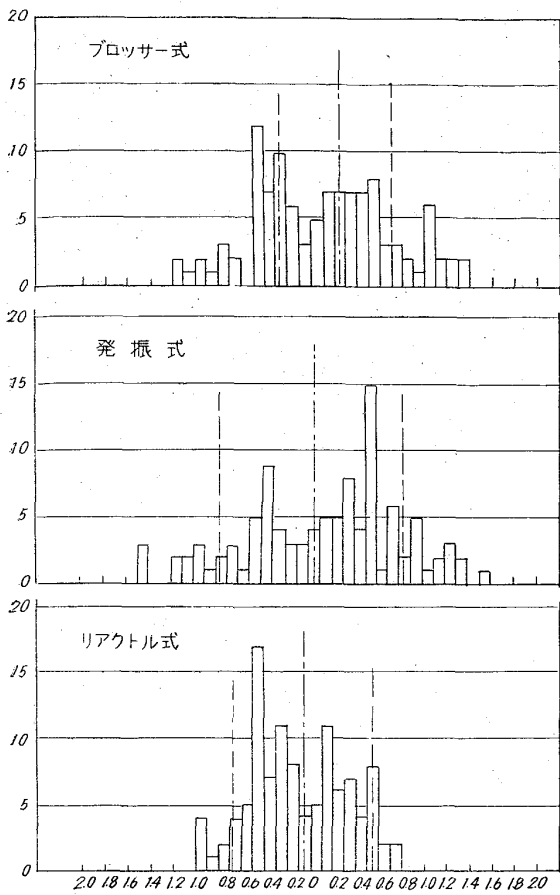
100hr クリープ試験は試験項目 3 の場合と同じ温度および応力条件で行なった。

##### (iv) 試験結果

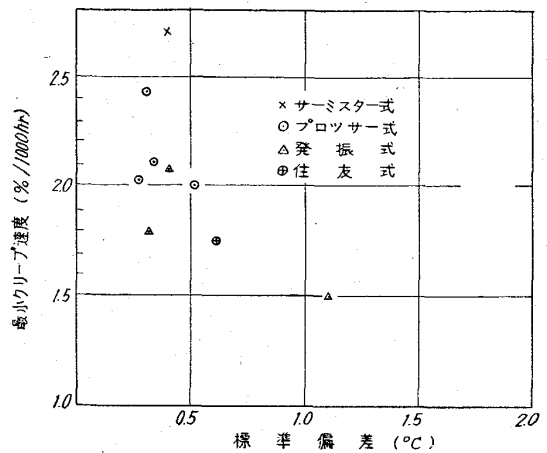
###### a) 無負荷 100 hr 加熱試験

試験片温度の測定結果を、温度変動のヒストグラムとして表わしたものの一例を第32図に示す。いずれの場合も、プロッサー方式とサーミスタ方式とはほとんど同じ成績を示したが、これらと発振式およびリアクター式とは明らかに相異を示す。前 2 者は温度変動が少く、JIS 2272 クリープ試験法第 1 法の規定の範囲内に容易に設定しうる。しかし、発振式、リアクター式はやや変動が大きく、上記第 1 法の規定に入らないが、第 2 法の規定、すなわち、450°C および 550°C においては  $\pm 1.5^\circ\text{C}$ 、700°C においては  $\pm 2.5^\circ\text{C}$  の範囲に入れることができる。なお、室温変動が温調装置の性能に影響することが認められ、殊に発振式の場合にその傾向が顕著であることが明らかとなった。この傾向は第33図に示される。

###### b) 100hr クリープ試験



第32図 温度変動ヒストグラム(設定温度 550°C)



第34図 100hr クリープ試験における最小クリープ速度と試験片の温度変動(標準偏差)との関係 (Cr-Mo鋼 550°C)

く、これに対し発振式およびリアクトルタイプのものは標準偏差が大きい。しかし、これを最小クリープ速度と関連づけて見ると、特に有意差は認められない。

これらのことより、試験片の温度変動は温調装置の種類によって著しい影響をうけるが、最小クリープ速度にはほとんど影響をおよぼさないといえることができる。

(v) 総括

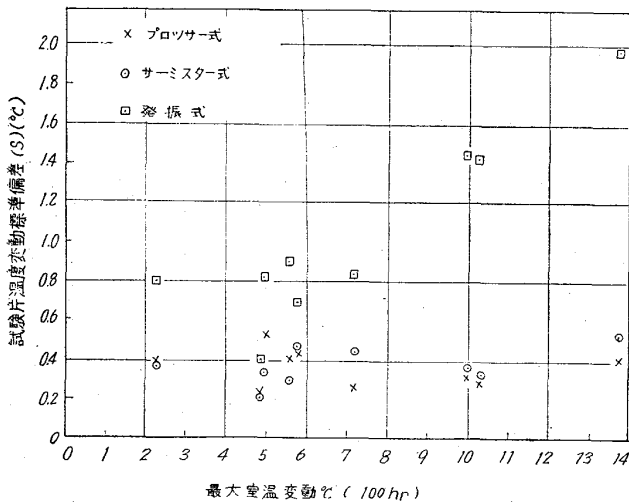
従来から採用されているサーミスター式、プロッサー式は実験の結果極めて優秀な結果を示し、これらの装置を使用する場合は、室温変動が相当激しい場合(室温の最高と最低の差が 10°C 程度)でも JIS 2272 クリープ試験法第2法の範囲内に容易に調整しうる成績を示す。しかしこれらはいずれも電子管増幅回路を用いているので値段も高く、また電子管の寿命である 4000hr 程度で故障のおこる可能性がある。ゆえに耐久性において問題がある。

発振式、リアクター式の場合には電気回路が比較的簡単であるため値段的に安く、故障のおこる頻度も比較的小さいので、前2者に比して精度は落ちるが、室温変動を小さくする考慮を払えば、試験機として多数設置し、かつ長時間連続使用するクリープ試験機の特徴からいえば、よく目的に合致したものといえる。

高温 100 hr クリープ試験においては、温調装置の相異なるによる試験片温度の変動範囲の差は前と同様のことが認められたが、クリープ試験の結果として見るとき、最小クリープ速度をとって比較すると、100hr 中の試験片の平均温度の高低あるいは変動の程度とクリープ速度の関連は見出せなかった。

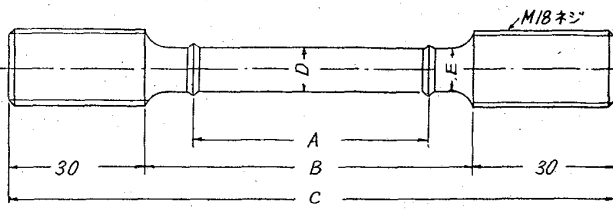
2.3.5 寸法効果の検討

(i) 目的



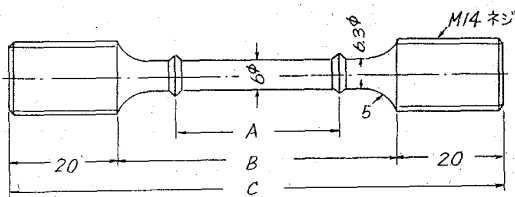
第33図 試験片の温度制御の状態(s)と室温変動との関係

炭素鋼450°C、Cr-Mo 鋼 550°C および 18-8 ステンレス鋼 700°C の 100hr クリープ試験を行ない温調装置の相異なるによる影響をしらべた。その結果を温度変動の標準偏差と最小クリープ速度との関係としその一例を示したものが第34図である。図より分るごとく、サーミスタ、プロッサー方式のものでは温度変動の標準偏差は小さ



A	B	C	D	E
20 ± 0.05	40	80	4φ ± 0.01	4.3φ
30 ± 0.05	50	90	6φ ± 0.01	6.3φ
40 ± 0.05	60	120	8φ ± 0.01	8.3φ
50 ± 0.05	70	130	10φ ± 0.01	10.3φ
60 ± 0.05	80	140	12φ ± 0.01	12.3φ

第35図 試験片標準寸法図



	A	B	C	試験片符号
4	20 ± 0.05	40	80	A-111, 108, 109
5	30 ± 0.05	50	90	A-97, 98, 99
6	40 ± 0.05	60	100	A-87, 88, 89
7	50 ± 0.05	70	110	A-83, 84, 85

第36図 試験片標準寸法図

現在, JIS, ASTM および B.S. のそれぞれのクリープ試験規格に採用されているクリープ試験用試験片の寸法を含む範囲で, 試験片寸法がクリープ性質におよぼす影響をしらべ, 寸法の影響のない範囲でできるだけ小さい試験片を標準クリープ試験片として定め, 標準試験機の容量設定の資料を得る。

(ii) 検討内容

a) 試験片の G.L(標点距離)/dia.(直径)を一定(=5)とし, 試験片の直径を 4, 6, 8, 10 および 12mm とした場合の寸法効果を 300 hr クリープ破断試験により検討する。

b) 試験片の直径を一定 (=6mm)とし, 標点距離を 20, 30, 40 および 50mm とした場合の寸法効果を 300 hr クリープ破断により検討する。

(iii) 試験

a) 試験材および試験片

本試験項目では炭素鋼, Cr-Mo 鋼および 18-8ステンレス鋼が用いられた。試験片形状は検討内容 a) に対して第 35 図, 検討内容 b) に対しては第 36 図のものが採用せられた。

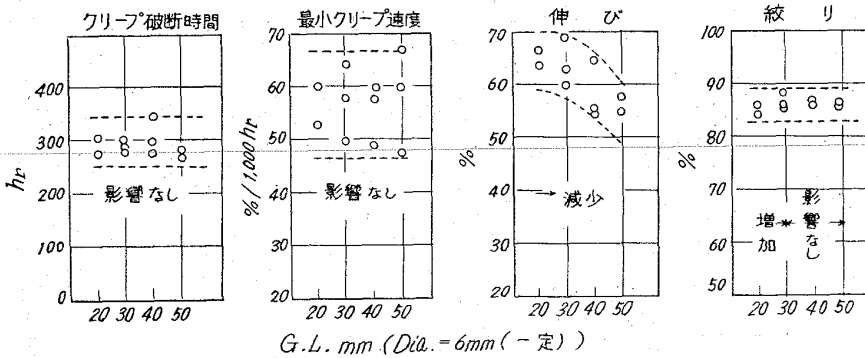
b) 試験方法

試験片の温度測定は上, 中, 下 3 点について行なった。試験温度および試験応力は炭素鋼, Cr-Mo 鋼および 18-8ステンレス鋼に対してそれぞれ 450°C, 23.0 kg/mm<sup>2</sup>, 550°C, 15.0 kg/mm<sup>2</sup>, 700°C, 10.0 kg/mm<sup>2</sup> であって, 予備試験によって 300 hr 破断を目標破断時間とした。

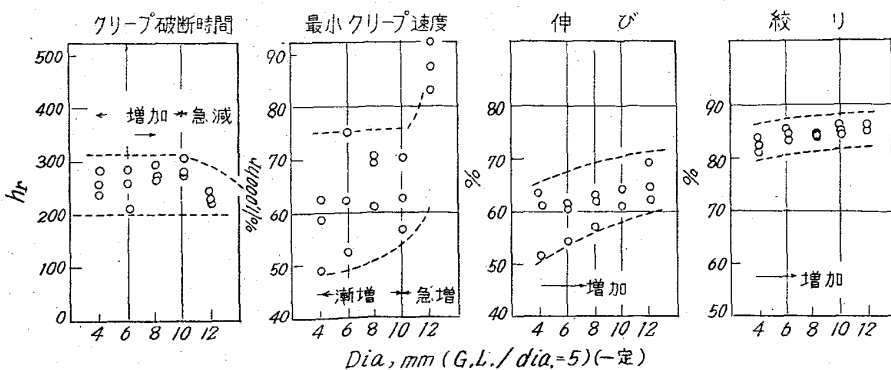
(iv) 試験結果

検討内容 a) および b) の試験の結果を取り纏めたものの一例をそれぞれ第37図および第38図に示す。

試験結果を全般的に見ていえることは, いずれの場合も試験値のばらつきが相当にあり, そのばらつきがここで考えられている因子のみのばらつきであると考えてよいのか, 他の因子が入っているのかの判断は困難であるが, 本試験においては出来る限り他の因子



第37図 標点距離を変えた場合の寸法効果(Cr-Mo鋼, 550°C)



第38図直径を変化した場合の寸法効果 (Cr-Mo鋼, 550°C)



の影響を除外する努力が払われた。かかる観点より上記の試験結果を検討し、見出された点をあげると次のごとくである。

検討内容 a) の場合(直径を変化した場合)

炭素鋼では試験の範囲内で寸法効果はない。Cr-Mo 鋼ではクリープ破断時間に対して直径 10mm までは影響なく、12mm で若干低下する傾向がある。また、クリープ速度、伸びについては直径が大になるにしたがい増加するが、絞りはほとんど変化しない。18-8 ステンレス鋼は Cr-Mo 鋼と傾向がほとんど同じであるが、伸びは直径の影響をうけない。

検討内容 b) の場合(標点距離を変えた場合)

炭素鋼では寸法効果なく、Cr-Mo 鋼、18-8 ステンレス鋼についても伸び以外は寸法効果がない。

(v) 総括

G.L./dia. を一定(=5)にして直径を 4~12mm の範囲に変化した場合、大きな寸法効果はないようである。ただし、直径 12mm の場合、クリープ破断時間が幾分短くなり、クリープ速度が若干大きくなる傾向が認められる。

直径一定で標点距離を変化すると標点距離の大きいものほど伸びが減少する。これは局部伸びの影響であってクリープ破断時間、クリープ速度に対して寸法効果はない。

以上のことより、試験片直径は 4~10mm の範囲を選ぶのがよく、標点距離は使用した試験片の寸法の範囲では寸法効果の点から特に規定する必要はない。

#### 2.3.6 温度精度の検討

(i) 目的

クリープ破断試験において、試験片の温度が変動した場合の影響を調べて、温度精度をどの程度まで抑えるべきかを検討し、温調装置の備えるべき性能の限界を判定する資料を得る。

(ii) 検討内容 炭素鋼、Cr-Mo 鋼および 18-8 ステンレス鋼について、それぞれ 450°C、550°C および 700°C の設定温度で 3 種類の温度変動を与えて 300hr クリープ破断試験を行ない、温度変動範囲が破断時間におよぼす影響をしらべる。

(iii) 試験

a) 試験機および試験片

試験に供した材料は上記 3 種類の材料で、試験片形状は第16図のものである。

b) 試験方法

本項目の試験実施のために、周期的温度変動を与える附属装置を備え、各材料に対して

第1表 試験材の試験温度および温度変動の種類

材 質	試験温度 (°C)	温度変動の種類 (°C)
材質 A (炭素鋼)	450	±1, ±4, ±10
材質 B (Cr-Mo 鋼)	550	±1, 4±, ±10
材質 C (18-8 ステンレス鋼)	700	±2, ±5, ±10

第1表に示すような温度に設定した後、温度変動装置を作動させ、それぞれ表記の種類の温度変動を与えた。温度変動の周期は 2 hr を標準とした。

温度変動装置を作動させた後 6 hr は精密に温度を測定し、さらに荷重負荷後の温度は 3 サイクル(6 hr) は精密測定を実施し、その後は日中の場合少くとも 3 サイクルを精密測定、夜間は自動記録によって変動温度を監視した。

負荷応力は炭素鋼(450°C)は 23 kg/mm<sup>2</sup>、Cr-Mo 鋼(550°C)は 15 kg/mm<sup>2</sup>、18-8 ステンレス鋼(700°C)は 10 kg/mm<sup>2</sup> である。試験片をとりつけ、設定温度に加熱してから初荷重をかけ、伸び計の読みを零点に合わせ、温度変動装置を作動せしめて 17±3 hr 加熱後に所定の荷重を負荷した。温度変動の自記曲線の一例を第39図に示す。

(iv) 試験結果および総括

温度変動下 300 hr のクリープ破断試験の結果のうち代表例として、破断時間と温度変動範囲の関係を第40図に示す。

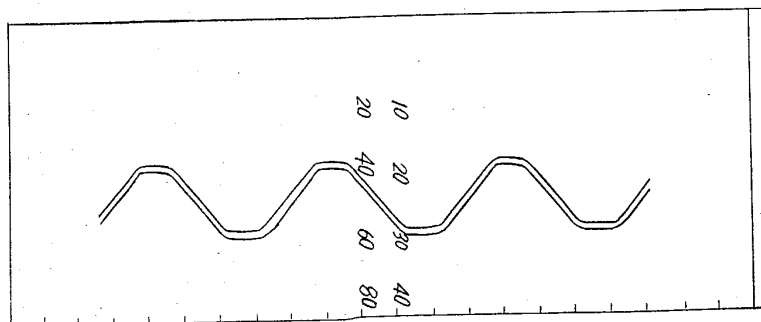
これらの試験結果を要約すると次のごとくである。

a) 破断時間

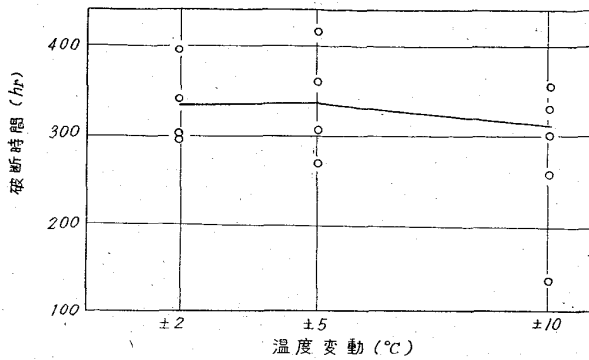
炭素鋼は 450°C、23 kg/mm<sup>2</sup> で温度変動 ±4°C の影響は無視しうるが、±10°C の影響は無視し得ない。Cr-Mo 鋼および 18-8 ステンレス鋼はともに 550°C、17 kg/mm<sup>2</sup> および 700°C、10 kg/mm<sup>2</sup> で温度変動の影響は ±10°C まで認められない。

b) 最小クリープ速度

破断時間と同様、炭素鋼に影響が認められるが、Cr-Mo 鋼および 18-8 ステンレス鋼には ±10°C まで影響は認められない。



第39図 700°C ±10°C の温度管理グラフ(18-8ステンレス鋼)



第40図 破断時間と温度変動との関係  
18-8ステンレス鋼, 設定温度 700°C, 10kg/mm<sup>2</sup>

### c) 破断伸びおよび絞り

3種の材料ともに実験の範囲内では温度変動の影響は認められない。

## 3. 結 言

クリープ試験機をその必要な性能を失うことなく、できるだけ簡略で安価な標準機をうるため、その要因ごとに検討を実施した。これらの要因の影響の検討に当っては試験精度が良好であることを目的とするものの、試験機を多数製作することも考慮して、精度については必要の最小限度にとどめることが必要である。

上記の主旨にそって、簡略化した構造の試験機と、従来用いられていた構造複雑な精密型試験機とを比較する方法を採った。比較試験によって、クリープ試験実施上性能に顕著な差が認められず、また試験結果に重大な影響の認められない場合で、実用上差支ないと考察されるものは簡略化すべきであると結論できる。ただし、本研究において、試験結果にかなりのばらつきのあるものがあつたが、これらについては材料の材質のばらつきに基づく変動であるか否か不明であつて、このため試験結果より明確な結論を得ることが困難なものもあつた。このため、総合的に結論を確立し得ないとしても、本研究の結果の概要を纏めると次のごとくなる。

1) 試験機構造上の問題として、両交叉ナイフエッジとピンジョイントを比較すると、後者は前者に比して感度はやや劣るが却つて試験片の振れは減少し、100hrクリープ試験の結果でも両者の影響は認められない。

2) 試験片の形状の簡略化を目的として、凸起式、カラー式およびエッジ式の3種の伸び計取り出し棒の様式を比較した。その結果、凸起式およびカラー式は精度が高く、エッジ式は試験片形状の簡略化には有効であるが不安定な傾向があることが分つた。ゆえに試験片形状は従来のものより簡略化し得ず、凸起式またはカラー式が推奨される。また、伸び測定の精度については、ダイヤ

ルゲージ方式はマルテンズ式伸び計方式に劣らないことも明らかになつた。

3) 加熱炉として、大型寸法筒型炉、普通寸法筒型炉および普通寸法割型炉の3種の型式の炉について試験片温度の安定性について検討した。その結果、大型寸法筒型炉が最も安定性がよいが、従来使用されている普通寸法筒型炉、普通寸法割型炉でも使用上差支を生ずるような温度変動を示さないことが分つた。

4) 温度調節装置はクリープ試験機の価格において占める割合が大きく、また試験機としての性能を決定づけるものの一つであるが、従来、これについて十分な検討がなされていなかった。そこで、従来広く使用されている精密型のサーミスターおよびプロッサー方式温度調節装置、構造簡略で耐久性のある発振式およびリアクター式温度調節装置の4種のものについて試験片の温度変動を調査するとともに100hrクリープ試験を実施した。その結果前2者は性能優秀であるが、発振式は室温の影響をうけてかなりな温度変動を示し、リアクター型も前2者に比し劣ることが明らかとなつた。100hrクリープ試験の結果では4者の優劣は判定し得なかつた。後の2者も室温に注意すれば十分使用に耐え、構造が簡単であるだけに故障箇所も少く、また安価であつて、前2者が構造複雑で故障の原因となる真空管を多く内蔵し、また価格が高いのに比して対称的で、長時間試験を行なうクリープ試験の性質上、後2者の方が適当であるともいえる。

5) 試験片の寸法形状がクリープ試験結果におよぼす影響を調べるため、現在各国の規格において採用されている大いさの範囲寸法の試験片について比較試験を行なつた。その結果、試験結果のばらつきがかなりあり、明確な結論を下すことは困難であるが、実験の範囲内では試験片の寸法による影響は認められず、この意味で試験片形状を小さくしうる可能性がある。したがって、試験機の容量を小さくしうることも推論できる。

6) 試験中の温度変動がクリープ試験に与える影響を調べるために、温度変動装置を備えて、設定温度のもとで故意に温度変動を与え、最大±10°Cの範囲の変動条件下で300hrクリープ破断試験を行なつた。その結果、炭素鋼450°Cの設定温度では±4°Cまでの温度変動には破断時間は影響をうけず、Cr-Mo鋼550°C、18-8ステンレス鋼700°Cでは±10°Cの変動でも破断時間に顕著な影響を与えないことが分つた。

以上の事実から、クリープ試験機としては次のようなものが標準機として推奨しうる。

1) 従来の高価なジョイントはピンジョイントを用いて簡略化しうる。

2) 試験片の形状は従来通りの凸起式またはカラー式が必要で、特に形状の簡略化は望めない。伸び測定にはダイヤルゲージ方式で十分である。

3) 加熱炉は大型炉が安定であるが、比較的小型炉でも使用しうる。

4) 温度調節装置としては徒らに精密級のを必要とせず、長期にわたって安定性を保つことと安価なこと

を目標として型式を選ぶべきである。

5) 試験片寸法は直径 4~10mmの間でクリープ破断試験に影響がないが、工作上の問題を考慮すると 6~10mm直径が標準となる。

6) 温度変動の影響は材質、試験温度にもよるが、 $\pm 4^{\circ}\text{C}$ 程度までは許される。