

## クリープ試験技術研究組合共同研究報告講演

# 昭和 37 年度マルチプルタイプ・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—II)

平 修 二\*\*

## Standardization of the Multiple Type Creep Tester Research Project in 1962.

Shuji TAIRA

### 1. 緒 言

マルチプル型試験機は 1 台の試験機で同時に多数本の試験を行なうことができるもので、従来のシングル型試験機が 1 台で 1 本の試験より実施できないのと比べると少ない費用でクリープ試験を行なうことができる。すなわち同じ費用で一定期間に多数のクリープ試験結果を得ることができる。しかしながら、マルチプル型試験機はシングル型に比べると、その構造上、試験精度が若干低下する傾向をもつであろうことはいなめない。したがって、マルチプル型試験機について種々の性能を明らかにし、その利害得失を知つて、本機種種のクリープ試験およびクリープ破断試験に使用できる限界を知り、これらを考慮に入れてその標準化を図ることは工業的に効果が非常に大きいと思われる。

試験研究の対象として放射型マルチプル試験機が選ばれ、1 台の試験機に放射状に 4 連の引張りレバーを有し、各連に 3 本までの試験片が吊下げられる型式のものを採用した。また、クリープ破断試験専用型（以後ラプチャー専用型と呼ぶ）とクリープ試験とクリープ破断試験に併用できる併用型の 2 種の試験機を設計製作した。いずれの型の試験機でも、同時に 12 本までの破断試験が可能であるが、後者の場合、1 連 2 本吊り計 8 本のクリープ試験も実施できるようにした点に特徴がある。ラプチャー専用型でも 1 連 1 本のクリープ試験が可能であるが、その場合の経済的利益は少いので、むしろラプチャー専用型とするのが良く、したがってこの名称とした。

マルチプル型試験機は、多数本の試験片を同時に試験可能としているので、その構造上、1 本の試験片の破断が他の試験片にいかなる影響を与えるか、また多数の試験片相互の温度分布、さらにクリープ試験の場合の伸び

測定精度が重要な問題点である。したがって、本試験研究ではこれらの点を種々な角度より検討するとともに、実際のラプチャー試験およびクリープ試験を行ない、それらの結果をシングル型試験機による結果と比較検討し、また英国 Distington 社製マルチプル型試験機の検討も同時に行ない、それらを総合して本型式試験機の性能を確認することとした。

試作した試験機は専用型 12 台、併用型 8 台で、輸入機は 2 台用い、試験機の検討およびクリープならびにラプチャー試験は前年度の試験研究と同様次の各社の研究所において行なわれた。

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

その他に、輸入機の検討について、金属材料技術研究所の協力を得た。

### 2. 試 験 機

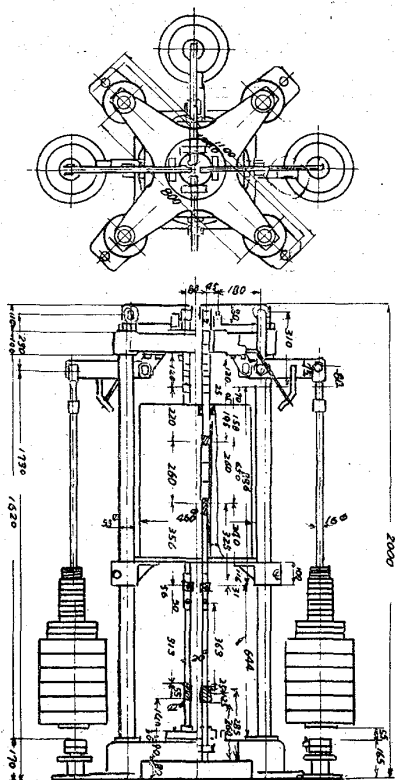
マルチプル型試験機として用いられているものには数種の型式があるが、これらについて、占有面積と価格および取扱いの難易の観点より以下に示すとき放射式のものを採用することとした。試験機としての形状、寸法および性能などについて組合として独自の検討を加え、その結果、4 連放射型試験機とし、

a. ラプチャー試験では最高 12 本、クリープ試験では最高 4 本を同時に試験できるもの——専用型

b. ラプチャー試験では最高 12 本、クリープ試験では

\* 昭和 38 年 4 月本会第 67 回講演大会にて講演  
昭和 39 年 6 月 1 日受付

\*\* クリープ試験技術研究組合技術委員会委員長  
京都大学工学部 工博



第 1 図 ラブチャー専用マルチプル型試験機の全体組立図

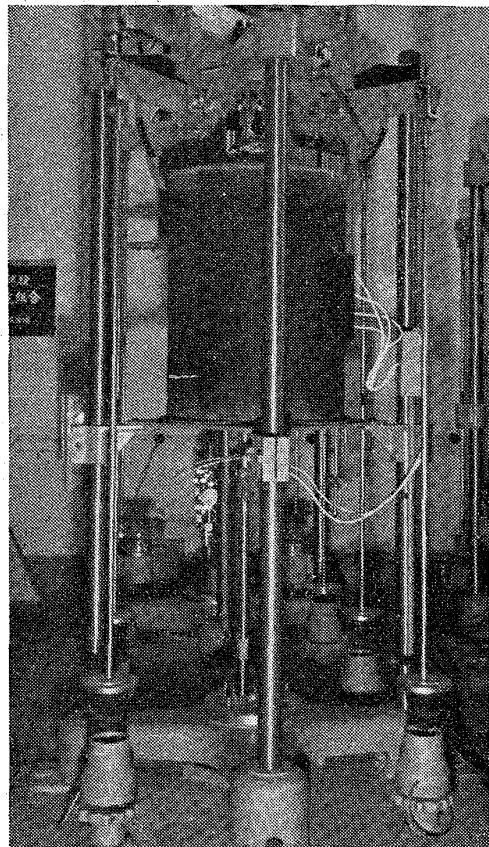
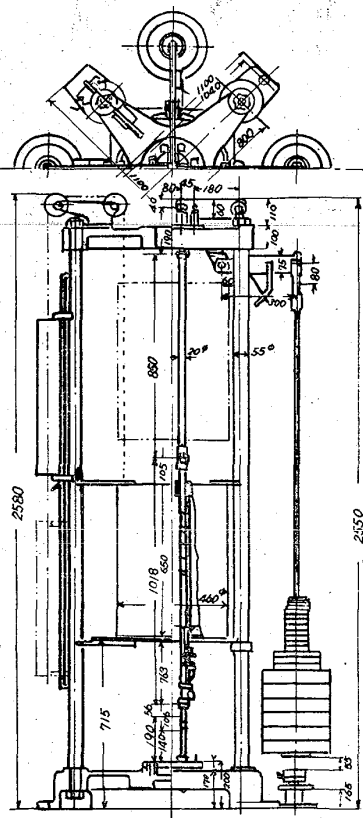


写真 1 ラブチャー専用マルチプル型試験機



第 2 図 クリープ併用マルチプル型試験機の全体組立図

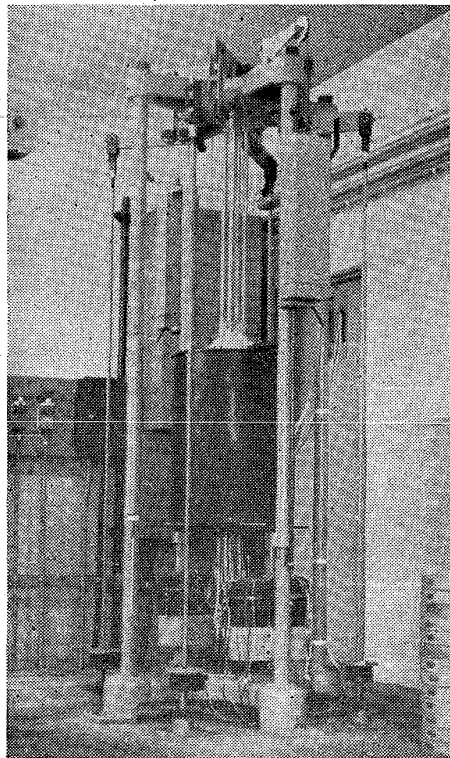


写真 2 クリープ併用マルチプル型試験機

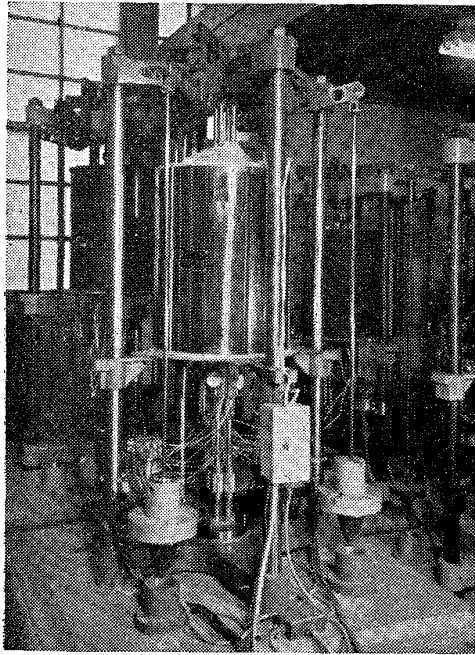


写真3 マルチプル型試験機 (輸入機)

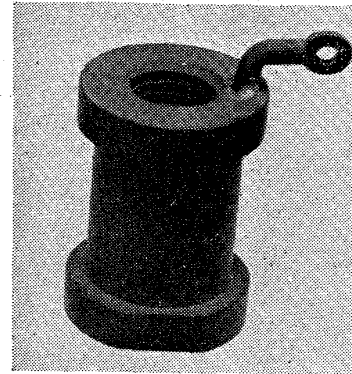
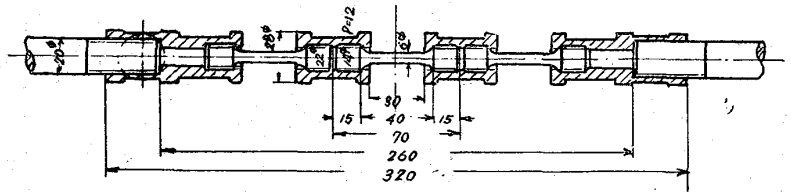


写真4 普通チャック



第3図 普通チャック

最高8本を同時に試験できるもの——併用型の2種類のマルチプル型試験機を試作して検討することにした。専用型および併用型の組立図を第1図および第2図に、またその外観を写真1および写真2に示す。またこれらの試作機と比較の対象として検討項目に加えた英国 Distington 社製試験機を写真3に示す。

試作試験機の構造について、各部分別に要点を記すると次のごとくである。

2-1 試験機本体

試験機本体は第1図、第2図より明らかなように、4本の柱を上下フレームで固定したものであつて、1個の加熱炉中に4連の引張棒が収容されている。引張棒は2段レバーを用い、重錘により負荷される。2段レバーの比は  $(4:1) \times (5:1) = (20:1)$  である。4連のそれぞれについて、最大荷重は3000kg、最小荷重は試作機150kg、輸入機で100kgである。

使用される試験片は、ラプチャー試験片(直径6mm、標点距離30mm)、クリープ試験片(直径10mm、標点距離50mm)および特殊クリープ試験片(直径10mm、標点距離150mm)の3種類である。2種のクリープ試験片の中、標点距離50mmのものは専用機(輸入機を含む)の1本吊りおよび併用機の2本吊りクリープ試験に用いられ、標点距離150mmのものは両機種の1本吊りクリープ試験に用いられる。

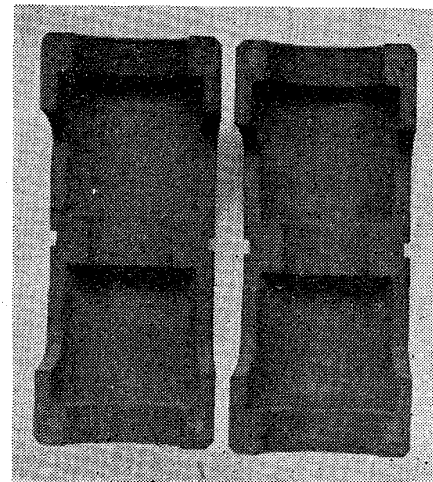
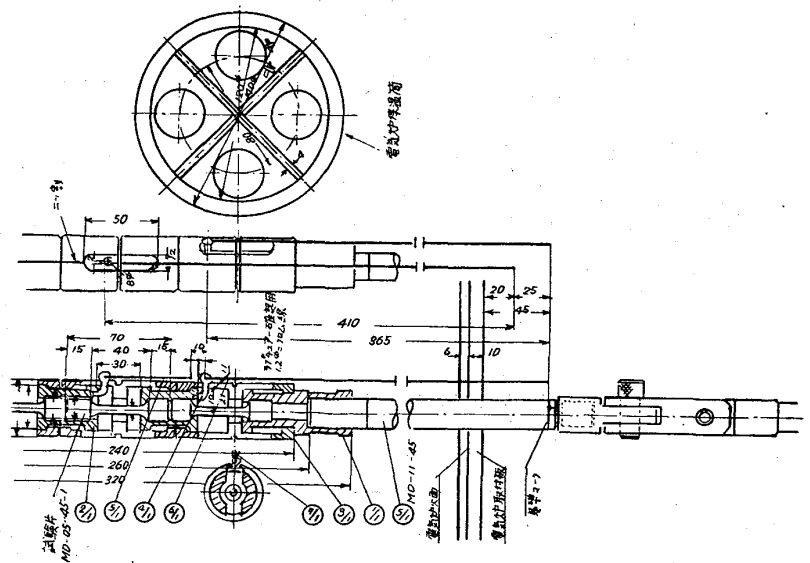


写真5 特殊チャック



第4図 特殊チャック

試験片を保持するチャックとして次の3種のものにつき検討した。

i) 普通チャック: 普通のねじ込型チャックで写真4のごときもので、その取付状態を第3図に示す。

ii) 特殊チャック: ラプチャー試験において、2本吊り以上の場合でも1本の試験片が破断しても途中で試験を中断することなく継続できるよう考案されたもので、

写真5およびそのとりつけ状態を第4図に示す。

iii) 割りチャック: 輸入機に使用されているもので、写真6に示す。

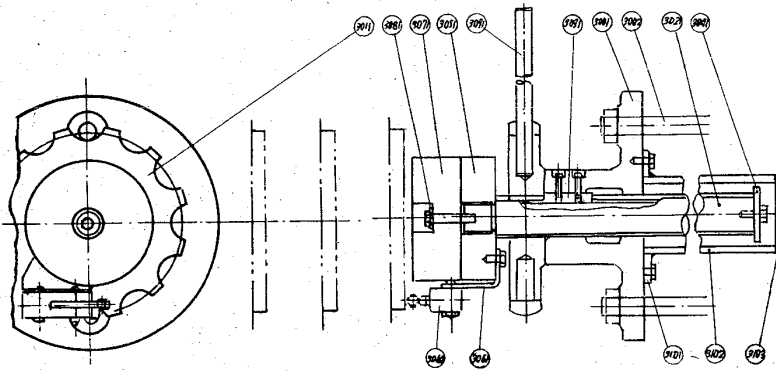
プルロッドは3本のピンで結合されており、試験片および上下チャッキングロッドを結合した状態で、容易に炉中に装入取付けできるよう寸法が決定された。併用機の場合、2本吊りクリーブ試験を実施する際、伸び計および熱電対など多くのものを装着するので取付が若干困難になる。その点を考慮して併用機においては試験機本体支柱を専用機より高くし、加熱炉を上下できる構造として加熱炉を上げた状態で試験片を取付け、下げた状態で試験することとした。

荷重受けダンパーは第5図a, bのごとくで、平型および円錐形のゴムを用いた。荷重吊り棒上端部を含め6個の支点のうちプルロッド側の支点2箇所にはナイフエッジを用い、他の4箇所にはボールベアリングを使用した。

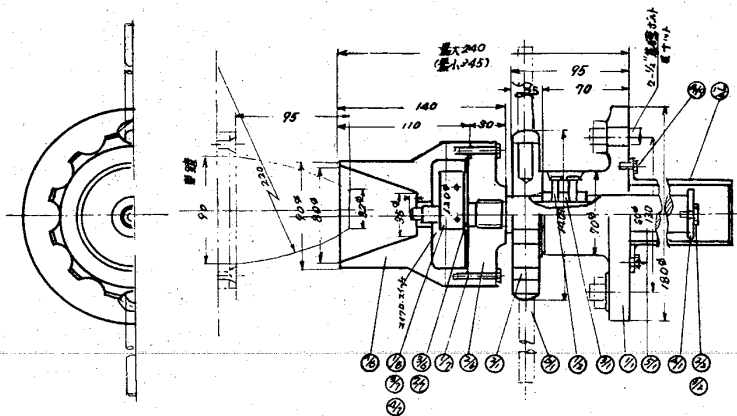
2.2 加熱炉

4連のプルロッドを同一炉中に納めることとし、4連で最高12本の試験片について試験中の温度分布を良くし、またその時間的変動をできるだけ小さくし、また1連の試験片を取替える場合の温度変動をできるだけ小さくするための努力が払われた。そのため、炉体の形状、寸法、捲線の設計、温度検出体の配置などについて、種々の予備試験が実施せられた。

炉の内部には均熱管が入り、均熱管は十字の隔壁によって4個の部分に分けられ



第5図a 平形ダンパー



第5図b 円錐形ダンパー

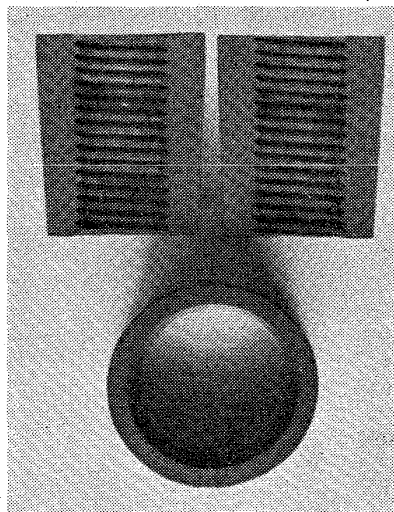
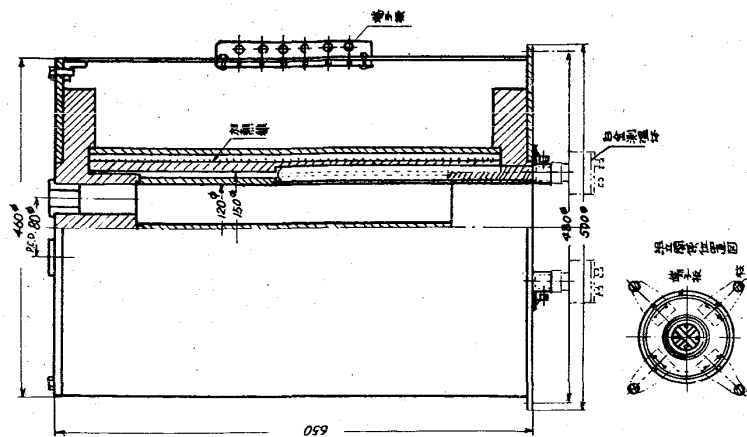
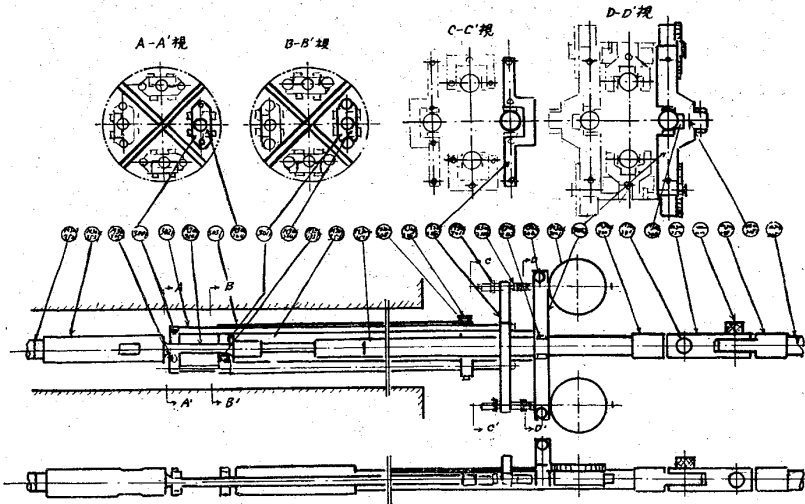


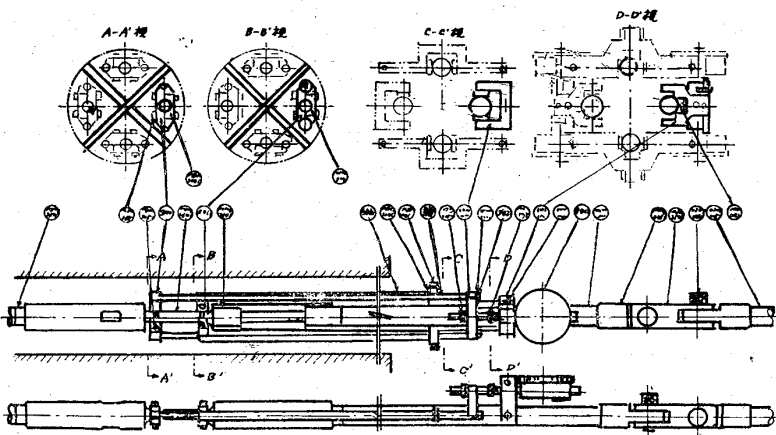
写真6 割りチャック



第6図 加熱炉



第7図 伸び計 (ダイヤルゲージ 2 筒式)



第8図 伸び計 (ダイヤルゲージ 1 筒式)

各部分にそれぞれ1連の試験片が装入される。温度検出体は1個または2個が炉中に装入せられている。炉の形状を第6図に示す。

### 2.3 温度調節器

温度調節器の電気回路は可飽和リアクトル式で、予備試験の結果十分信頼しうることが確かめられた。

### 2.4 伸び計

次の3種の型式の伸び計が試験に供された。

#### 2.4.1 ダイヤルゲージ 2 個式 (第7図)

昭和36年度の試験研究の結果に基づき、凸起式伸び計を用いることとし、ダイヤルゲージ 2 個を用いて試験片の両側の伸びを測定する。ただし、伸びの取り出しは、下部凸起用の中空取出棒の中を上部凸起用の中実取出棒が通る方式としてあり、この型式のものは特殊クリープ試験片に用いるものである。

#### 2.4.2 ダイヤルゲージ 1 個、凸起式 (第8図)

普通クリープ試験片 1 本吊り用、2 本吊り用および特殊クリープ試験片 1 本吊り用で、試験片の両側の伸びを平均し、1 個のダイヤルゲージで読む方式である。a の

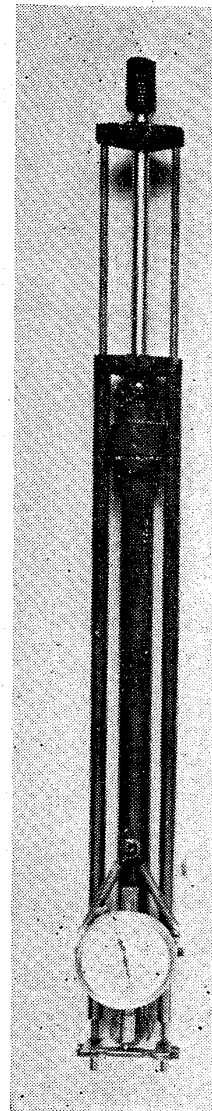


写真7 伸び計 (ダイヤルゲージ 1 筒、エッジ式、輸入機)

場合と同様、中空と中実取出棒を用い、試験片寸法と吊下数で若干寸法が異なる。取付部は凸起式である。

#### 2.4.3 ダイヤルゲージ 1 個エッジ式 (写真7)

### 2.5 温度測定器と温度記録計

試験温度測定には精密型ポテンシヨメータを使用し、概略測定用として温度較正用ポテンシヨメータ (最小目盛  $0.01\text{mV}$ ) を使用した。試験片中央点の温度が電子管式記録計により自動記録された。使用熱電対はすべて  $0.5\text{mm } \phi$  Pt-13% Rh-Pt 熱電対で、熱電対メーカーで検定したものをを用いた。

## 3. 試験材および予備試験

試験機の性能検討のために数種の材料について、クリープおよびクリープラプチャー試験を実施したが、試験材料として一般に広く用いられていて均質なものを得や

すいという観点より、炭素鋼 (S15C)、Cr-Mo鋼 (2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo鋼)、18-8 ステンレス鋼および 18-8Mo ステンレス鋼が採用された。これらの試験材の製造履歴、常温機械的性質、試験片寸法は次のごとくである。

3.1 炭素鋼 (S15C)

3.1.1 溶解

炉の種類	溶解量	インゴット 大 小	脱酸条件
高周波電気炉	500kg	500kg	Al 少量

3.1.2 化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Al
0.19	0.35	0.54	0.012	0.011	0.006

3.1.3 試験片素材製造履歴

溶解 → 造塊 → 鍛造 → 熱延 → 切断 → 再切断 → 熱処理  
 500kg H.F. 電気炉    500kg 鋼塊    95φピレット(3本)  
 22φ                    22φ×2000                    22φ×1000                    900°C 焼鈍

3.1.4 熱処理

鋼塊底部のピレットより採取したものをAグループ、中部よりのものをBグループとし、Aより26本、Bより10本、計36本を一括熱処理した。熱処理条件は

昇温                    炉内                    空冷  
 装入 → 保持 → 400°C → 室温  
 800°C 2hr    900°C 1hr 16hr

3.1.5 常温機械的性質

各素材棒の端部より約30mmの長さの位置で切断し、断面の5箇所にて HRB 硬度を測定した。測定値は大略 68.5~71.5 の間に入ることが確かめられたが、試験材としての均一性を確保するため、各測定点の値が HRB 69~71の間に入り、またその平均値が 70~71 の間に入るものを25本選んで供試材とした。

供試材について行なった引張試験の結果は次のとおりである。

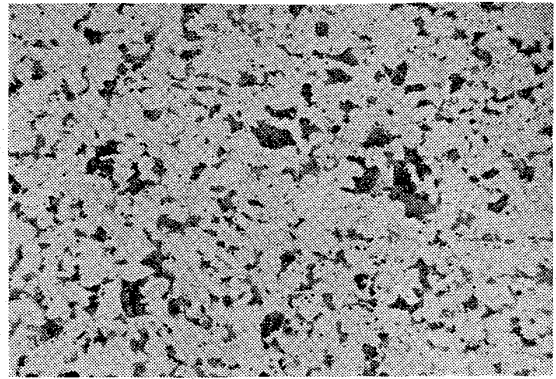
試験片 符号	降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸び%	絞り%	硬  さ HRB
A16-2	27.6	46.3	37.5	57.8	70.0
A17-2	28.1	46.4	37.4	58.2	70.7

供試材の結晶粒度は JIS No.6~7 (フェライト粒度) で、その顕微鏡写真を写真8に示す。

3.2 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo 鋼

3.2.1 溶解

炉の種類	溶解量	インゴット 大 小	脱 酸
高周波電気炉	50t	20t	Al 使用



×100 (4/5)

写真8 腐蝕液 5% Nital

3.2.2 化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
0.11	0.39	0.47	0.019	0.006	0.11	0.09	2.20	0.98

3.2.3 試験片素材製造履歴

溶解 → 造塊 → 圧延 → 鍛造 → 熱処理  
 50t                    2t                    99φ                    22φ

3.2.4 熱処理

鍛伸素材を 22φ×100 および 22φ×140 に切断し、85~111本を1ロットとして8ロットの熱処理を行なった。

熱処理炉: 60kW, 400×400×900

熱処理: 930°C × 1hr → 100°C/hr で冷却

3.2.5 常温機械的性質

熱処理した素材全数について、中央表面を直径で 2.5mm 切削し、サンドペーパー研磨後3点について硬度を測定した。全素材 (600本) の平均硬さは HRB 77.2 であつて、この中、硬さが平均より ±2HRB 以上のものを除いた。JIS 4号試験片で引張試験を行なった結果を示すと次のごとくである。

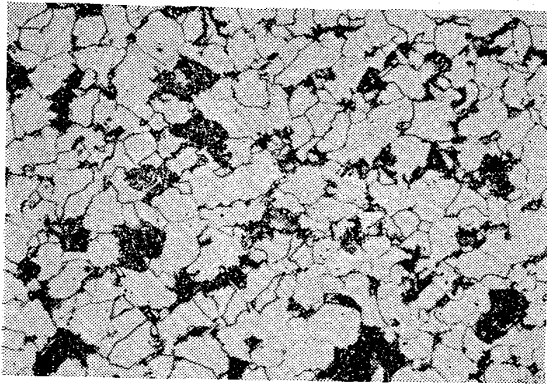
降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸び(%)	絞り(%)
26.7	53.7	34	61.0
26.2	53.2	36	58.8
27.8	54.6	31	55.3

素材の結晶粒度は JIS No.5.8 (オーステナイト粒度) で、その顕微鏡写真を写真9に示す。

3.3 18-8 ステンレス鋼

3.3.1 溶解

炉の種類	溶解炉	インゴット 大 小	脱酸条件
エール式 電気炉	11.1t	440kg 円形	Ca-Si 40kg Al 4kg Si 60kg



×100 (4/5)

写真9 腐蝕液 2% Nital

3.3.2 化学成分

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
0.08	0.47	0.91	0.026	0.010	18.77	10.10	0.08

3.3.3 試験片素材製造履歴

溶解 → 造塊 → 圧延 → 圧延  
 電気炉 鋼塊 400 kg 80 φ 22 φ × 2500

3.3.4 熱処理

22 φ × 2500 mm の素材 30 本をたばねて、工場熱処理炉にて下記の熱処理を行なった。

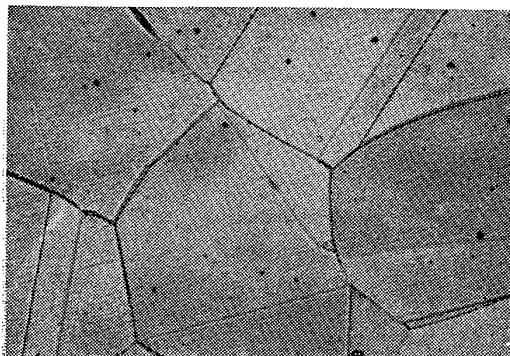
1100°C, 1hr → W.Q.

3.3.5 常温機械的性質

熱処理の素材よりランダムに 3 本を抜き出し、それを 3 等分した各切断位置および両端について硬さを測定した。測定値の平均は H<sub>R</sub>B 77.6 で最大差は 3.0 である。常温引張試験の結果を次に示す。

試験片採取位置	耐力(0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸び(%)	絞り(%)
中心部	24.7	60.4	64.2	76.4
端部 A	25.7	60.1	64.8	76.4
端部 B	25.3	60.4	64.0	75.7

結晶粒度は JIS No. 3.0 (オーステナイト粒度) で、その結晶組織の顕微鏡写真を写真 10 に示す。



×400 (4/5)

写真10 腐蝕液, マーブル溶液 (硫酸銅の塩酸溶液)

3.4 18-8 Mo 鋼

3.4.1 溶解

炉の種類	溶解量	インゴット大きさ	脱酸条件
高周波電気炉	1 t	250 kg	とくに添加せず

3.4.2 化学成分 (%)

C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
0.09	1.58	0.44	0.014	0.017	0.06	13.32	16.18	2.68

3.4.3 試験片素材製造履歴

溶解 → 造塊 → 皮削り → 鍛造 →  
 1 t 高周波炉 鋼塊 250 kg 110 φ ビレット  
 熱延 → 切断 → 熱処理  
 22 φ 22 φ × 1000

3.4.4 熱処理

22 φ × 1000 mm の素材を 4 つのグループにわけて熱処理した。そのうち 2 つのグループを供試材料に採用した。熱処理は

1090°C × 1hr → W.Q.

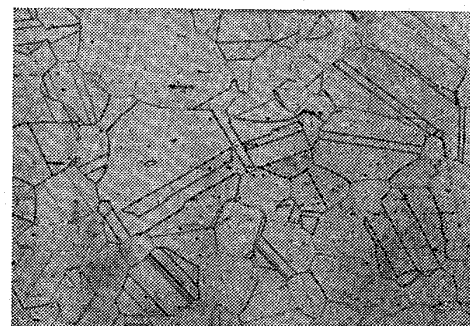
3.4.5 常温機械的性質

採用した 2 つの熱処理グループのそれぞれよりランダムに 4 本の素材をぬき出し、中部部附近より引張試験片頭微鏡試験片を、中央部および端部より硬さ試験片を採取し、それぞれの試験を実施した。硬さ測定値の平均は H<sub>R</sub>B 79.9 で最大差は 4.7 であつた。

JIS 4 号試験片による引張試験の結果は次のとおりである。

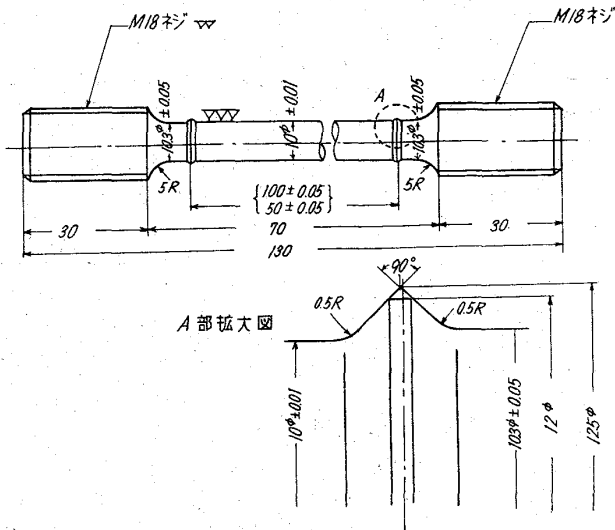
素 材	耐力(0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸び(%)	絞り(%)
グループ 2	25.5	58.3	63.2	75.5
グループ 3	26.3	58.9	62.8	75.5

素材の結晶粒度は JIS No. 2.6 (オーステナイト粒度) で、結晶組織の顕微鏡写真を写真 11 に示す。

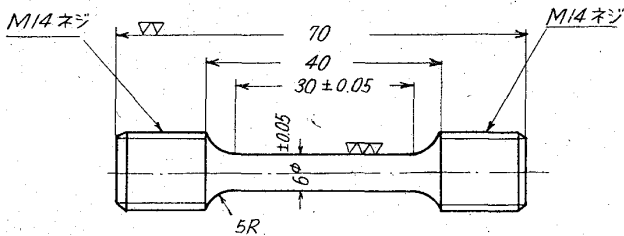


×100 (4/5)

写真11 腐蝕液, 王水



第9図 クリープ試験片



第10図 ラプチャー試験片

3.5 試験片寸法

本試験に使用した試験片はクリープ試験片2種類(第9図)、ラプチャー試験片1種類(第10図)である。

クリープ試験片	10φ × 150mm 10φ × 50mm	凸起式
ラプチャー試験片	6φ × 30mm	

3.6 予備試験

本試験実施に先立ち、前記の各材料について定められた温度において、100, 300, 500 および 1000hr 破断のラプチャー試験応力決定のために、シングル型クリープ試験機により予備試験が行われた。各材料に付する試験温度および試験の結果定められた各ラプチャー時間に対する試験応力を一括して第1表に示す。

第1表 ラプチャー時間に対する試験応力

材 質	試験温度 °C	試験応力 kg/mm <sup>2</sup>			
		100 hr	300 hr	500 hr	1000 hr
炭 素 鋼	450	27.5	24.8	23.5	21.5
Cr-Mo 鋼	550	33.5	26.0	22.0	18.0
Cr-Mo 鋼	600	15.0	12.5	11.5	10.5
18-8 鋼	700	15.3	13.4	12.5	11.4
18-8Mo 鋼	800	8.5	7.5	6.5	5.5

4. 試験項目の検討

4.1 試験片破断の影響の検討

4.1.1 目的

ねじ取付けなどによる各試験片の曲りおよび一部試験片破断による振動が他の試験片におよぼす影響を調べる。

4.1.2 検討内容

- i) ねじ取付けなどによる試験片の曲りの測定
- ii) 一部試験片破断が他の試験片におよぼす影響の検討。

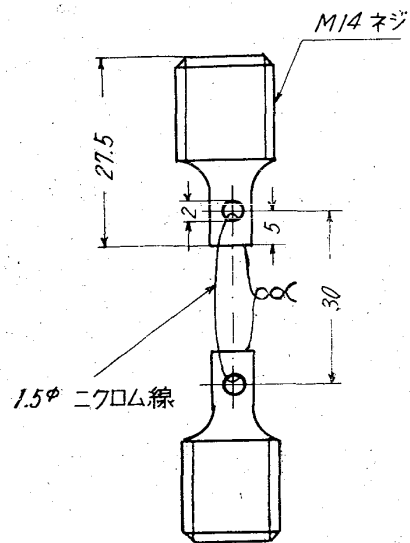
4.1.3 試験

- i) 試験材 Cr-Mo 鋼
- ii) 試験方法

曲りの測定については、試験片平行部両側にワイヤストレーンゲージを貼りつけ、試験片を3本吊りにして、ねじの当りを種々に変えて、おのおの場合について3回繰返して負荷し、曲り歪を測定した。

一部試験片破断が他の試験片におよぼす影響については次のような試験を実施して検討した。すなわち試験片は12本吊りとし、その中の1本の引張棒の中央試験片の位置に破断用として第11図に示すような試料をとりつけ、ニクロム線の負荷による破断を利用した。破断時の衝撃の検出のために、破断試料の上、下の試験片および他の連における中央試験片の5箇所および破断試料に近い支柱の試料に対向する位置に抵抗線歪計を貼りつけ、電磁オシログラフにより各位置の振動状態を6箇所同時記録した。

なお、試料破断時の重錘落下距離を100および180mm(最高)に変化させ、重錘落下距離の振動におよぼす影響



第11図 破断用試験片



をも調べた。このさい、破断荷重を 200, 500 および 800 kg の 3 種類とした。ただし、他の連の荷重はすべて 150 kg の一定値に保った。また、破断荷重を 450 kg, 重錘落下距離を 180 mm に保って、他の連の荷重を下記のようにいろいろ変化させ、試験荷重の大きさが一部試験片破断に基く衝撃の大きさにおよぼす影響をも調べた (第 2 表参照)。

第 2 表 試験荷重 (kg)

試験番号	A	B	C	D
1	450	150	150	350
2	450	250	350	450
3	450	350	450	550
4	450	450	650	650

A は破断試料をとりつけた連, B, C は A の隣接連, C は A に対向する連を示す。

4.1.4 試験結果の要約

得られた試験結果は次のごとくである。

i) 曲り歪の検討: 試験片 3 本吊りの場合、曲り歪は下および上の試験片では中央試験片より大きい傾向が認められた。曲り歪はねじの当りにより大きく変るが、通常ひずみの約数パーセント、最大 15% の曲り歪を生ずる。これはシングル型試験機の場合より幾分大きい。

ii) 一部試験片の破断が他の試験片におよぼす影響: 破断試料の破断によって発生した振動の電磁オシログラフによる記録の一例を写真 12 に示す。図中の番号は各位置における抵抗線歪計を意味するもので、①および②は破断試料の上, 下, ③および④は左右の連の中央試験片, ⑤は対向位置の連の中央試験片, ⑥は支柱にそれぞれ貼られた歪計である。破断試料の破断により生ずる振動歪は、①および②では荷重が解放されるために直ちに

収束するが、③、④ および ⑤ の示す振動歪は複雑である。すなわち、うなり状の振動が見られ、この傾向は破断荷重の大きいほど顕著になる。この振動はしだいに収束する。このようにして検討せられた結果を要約すると次のごとくになる。

上記のごとく、一部試験片の破断に基く他の試験片の振動は複雑であるが、重垂の落下距離の差によつては振動の大きさに変化は少ない。破断試料の上下の試験片は最大  $150 \times 10^{-6}$  の瞬間的な歪を生ずる。また、他の連の試験片の振動は、専用機においては併用機の場合に比して、一般に振動歪の振幅は小さく、振動継続時間が長い。また、この際の最大歪振幅は  $50 \times 10^{-6}$ 、最大継続時間は約 19 sec である。

振動継続時間は、専用機、併用機ともに、試験荷重が高い程長くなり、最大歪振幅は専用機で  $28 \times 10^{-6}$  (約  $0.6 \text{ kg/mm}^2$ ) 併用機で  $70 \times 10^{-6}$  (約  $1.5 \text{ kg/mm}^2$ )、最大継続時間はそれぞれ 21 sec および 12 sec である。

4.2 加熱炉内温度分布およびその時間変動の精密測定 (ラプチャー試験の場合)

4.2.1 目的

ラプチャー試験では、加熱炉の精度すなわち炉内の温度分布の良否が試験結果を左右するが、とくにマルチプル型試験機による場合は炉の構造寸法と試験片数との相互関係から温度分布が重要である。この見地より、専用型および併用型試験機について、ラプチャー試験の場合について加熱炉の温度精度を検討する。

4.2.2 検討内容

i) 特殊チャックを用いた場合の炉内の温度分布、時間変動の温度精密測定

- (1) 試験片および炉内の温度分布
- (2) 一連の試験片の交換による他の各連の温度分布の時間的変化

ii) 特殊チャックを用いない場合の炉内の温度分布、時間変動の温度精密測定

- (1) 試験片および炉内の温度分布
- (2) 一連の試験片の交換による他の各連の温度分布の時間的変動

4.2.3 試験

i) 試験片 18-8 Mo 鋼

ii) 試験方法

温度測定のための熱電対取付位置は、特殊チャックを用いた場合については第 12 図および第 13 図特殊チャ

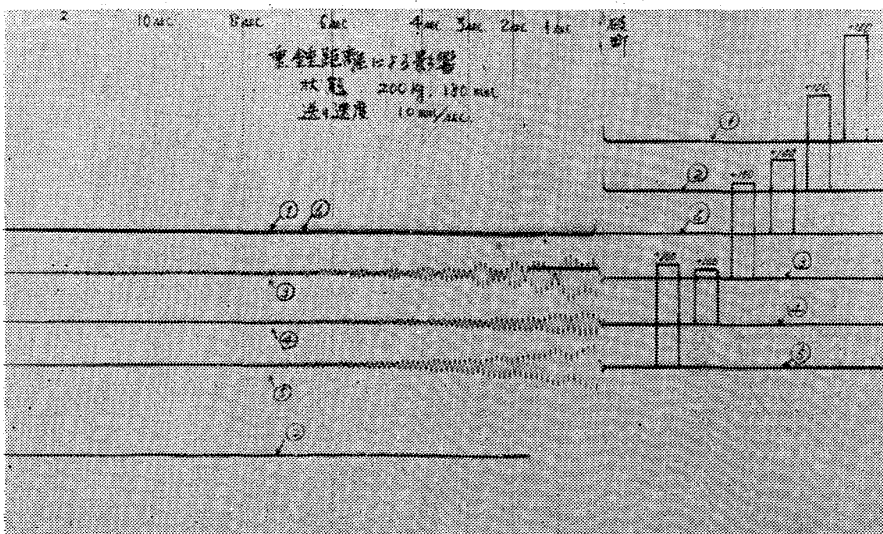
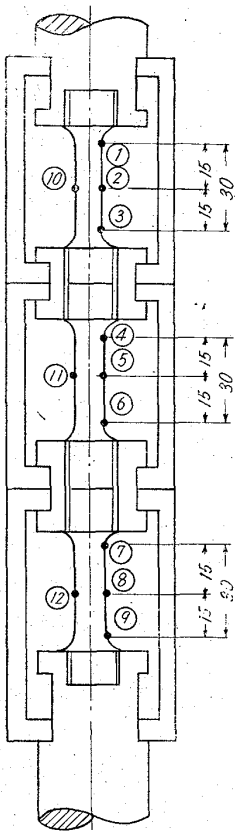


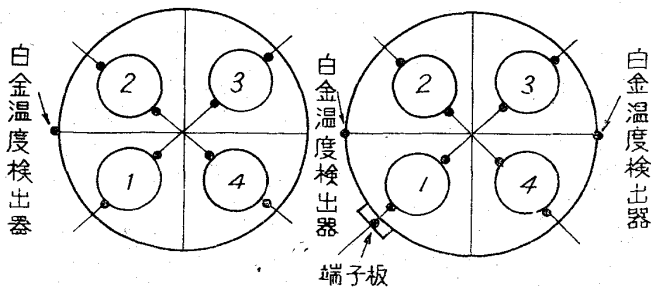
写真 12 破断時の振動の測定結果



第12図 熱電対の取付位置  
および測定点  
(G.L.30mm 3本吊り特  
殊チャック付)

昇温は JISZ 2271 にしたがって行ない、450、550および 700°C を設定温度とした。昇温、均熱後 50 hr まで 2hr ごとに温度を測定記録し、夜間にわたる場合は自動記録を併用した。

一連の試験片の交換による他の各連の温度分布の時間的変化の検討については、昇温、均熱後直ちに測温し、この時の温度を記録し、ついで温度検出器に最も近い一連の試験片を取り外した後、2 hr 毎に 50 hr にわたり測温し、さらに一連の試験片を取りつけた後も同様に 2 hr 毎に 50 hr にわたり測温記録した。熱電対取付状態を写真 13 に、また試験の状況を写真 14 に示す。



第13図 加熱炉内部屋番号および測定点の相対位置  
(G.L.30mm 3本吊り特殊チャック)

ックを用いない場合についても同様である。

第 12 図の右側が炉心側で第 13 図は炉の温度調整用温度検出体に対する各連の試験片の相対位置を示す。いずれの場合も、②⑥および⑧の点については精密温度計で測定すると同時に自動記録をとった。①および⑨の点については精密測定を行なつた。その他の点の温度は任意測温点である。

熱電対の取りつけは、熱電対の測定点位置に完全に密着するように、ニクロム線がそれに準ずる細線で規定の位置にくくりつけたのち、炉壁からの輻射を防ぐため、その周囲をアスベスト線で巻き固定した。

昇温は JISZ 2271 にしたがって行ない、450、550お

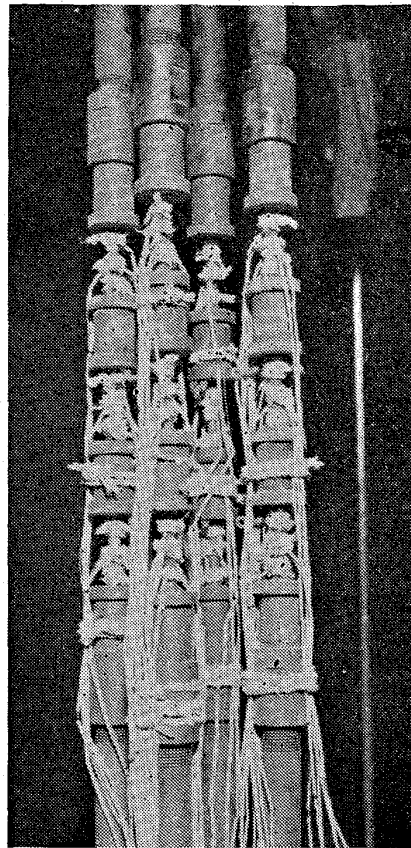


写真13 熱電対取付状態  
特殊チャックを用いない場合

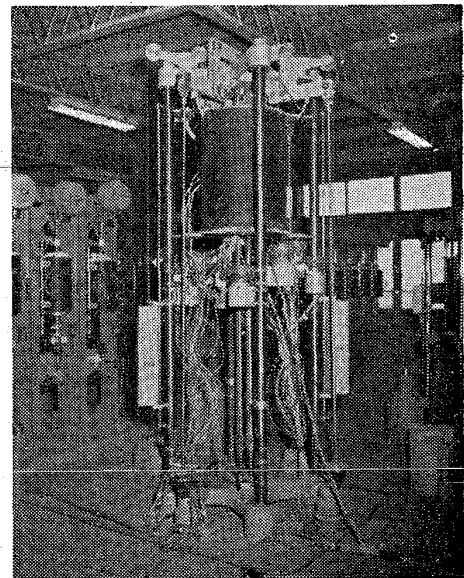


写真14 試験実施状況  
クリープ併用機の場合

4・2・4 試験結果の要約

- i) 試験片温度分布とその時間約変動
    - (1) 試験期間中の試験片の最大温度差
- 試験期間中の位置的、時間的の最大温度差は比較的少く (4~7°C)、試験機の機種、試験温度あるいは特殊チャ

ックの有無にかかわらず、JISZ 2272 を満足する。

(2) 1連の3本の試験片のうち、上部試験片の下側で最も多く(約 $+3^{\circ}\text{C}$ )、下部試験片の下側で最も低く(約 $-3^{\circ}\text{C}$ )なる傾向が認められ、また試験片の内外の温度差は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 程度以下であつた。なおこのような温度分布は試験条件(機種、試験温度および特殊チャックの有無)によっては変らなかつた。

(3) プルロッド間の温度差

各試験条件に共通して、プルロッド No. 1 あるいは No. 2 (第13図参照)が約  $0.8^{\circ}\text{C}$  高く、No. 3 あるいは No. 4 が約  $0.8^{\circ}\text{C}$  低い。

ii) 1連の試験片を交換した場合の他の各連の温度温度の自動記録の1例を写真15に示す。

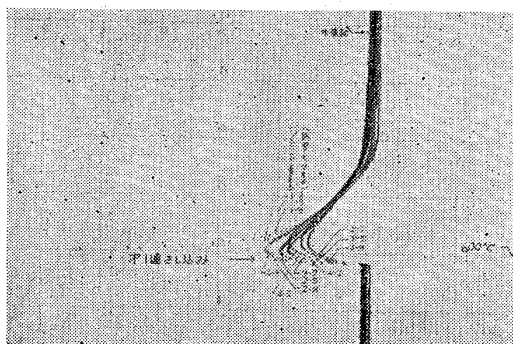


写真15 1連の試験片を交換した場合の温度線図

(1) 試験期間中の試験片の最大温度差

試験期間中の位置的、時間的の最大温度差の平均値は  $4 \sim 11^{\circ}\text{C}$  の範囲にあり、試験片の交換しない場合に比して一般に大きい。

(2) 試験片の温度分布

4.2.4 i) の場合と同様に、一連3本の試験片の中で上部試験片下側が高く(約 $2^{\circ}\text{C}$ )、下部試験片の下側が低い(約 $3^{\circ}\text{C}$ )傾向があり、また No.1 あるいは No.2 プルロッドが高く(約  $0.7^{\circ}\text{C}$ )、No.3 あるいは No.4 プルロッドが低い傾向にある。

(3) 試験片交換後の温度差は最大  $4^{\circ}\text{C}$  以内で特に大きくはなく、平均値およびばらつきは交換後若干増加して  $2^{\circ}\text{C}$  程度となるが、この程度の差は実際上問題とはならない。

(4) 試験片交換後試験片温度差は 2 hr で設定温度にもどる。

iii) 以上のように、試験期間を通じての各測定点間の最大温度差は、試験実施場所相互の間で、あるいは検討内容別に若干異なり、一方温度分布についてもある一定の傾向が一部に認められた。また、1連交換により比較的大きな温度差およびばらつきを生じたが、これらは加

熱炉の性能にも関連し、炉の扱い方、すなわち加熱炉上下部における断熱状況およびこれと関連しての加熱炉上、中、下の加熱電流の相互的な精密調整に大きく関係し、これらの点に留意すれば、十分 JIS の条件をみたすラプチャー試験が可能であると判断される。

4.3 加熱炉内温度分布およびその時間変動の精密測定(クリープ試験の場合)

4.3.1 目的

前項目と同様に加熱炉内の温度分布およびその時間変動をクリープ試験の場合について検討する。

4.3.2 検討内容

次の3種の試験片のクリープ試験の場合の炉内の温度分布を検討する。

i) G.L. 150mm 1本吊の場合の試験片の温度分布

ii) G.L. 50mm 2本吊の場合の試験片の温度分布

iii) G.L. 50mm 1本吊の場合の試験片の温度分布

4.3.3 試験

i) 試験材 18-8 Mo 鋼

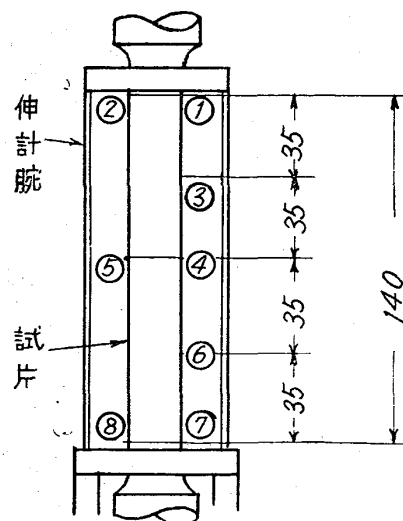
ii) 試験方法

熱電対の取付位置は G.L. 150mm, G.L. 50mm 2本吊および G.L. 50mm 1本吊の場合につきそれぞれ第14図、第15図、および第16図に示す。また、加熱炉内の試験片の相対位置は第13図の場合と同様である。

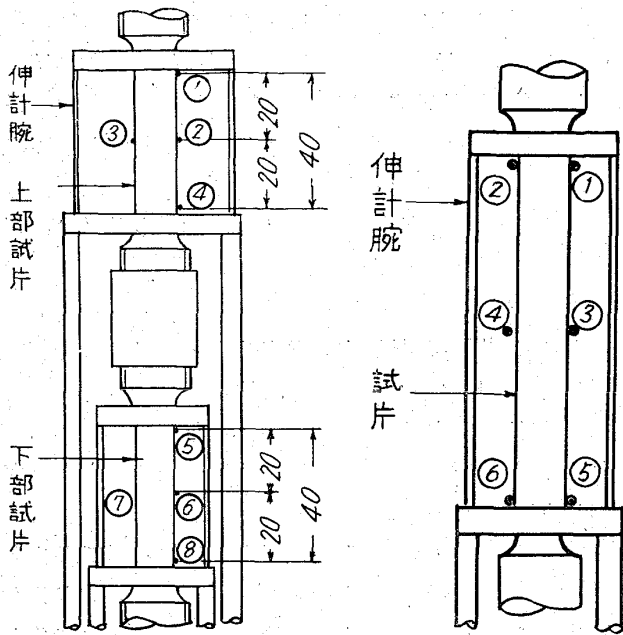
熱電対の取付方法は試験項目2の場合と同じである。試験温度は  $450^{\circ}\text{C}$ 、 $550^{\circ}\text{C}$  および  $700^{\circ}\text{C}$  に設定した。温度測定の方法、試験時間なども前項目の場合と同じである。

4.3.4 試験結果の要約

各試験を通じて試験場所によって少々差異が認められ



第14図 熱電対の取付位置および測定点 (G.L. 150mm 1本吊り)

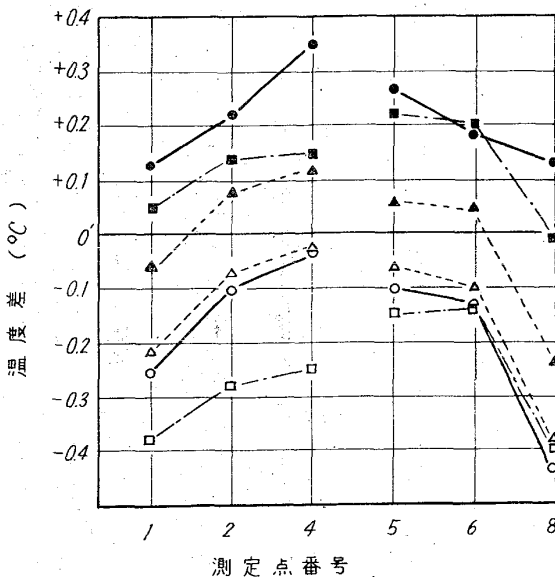


第15図 熱電対取付位置 および測定点 (G.L. 50mm 2本吊り)      第16図 熱電対取付位置 および測定点 (G.L. 50mm 1本吊り)

たが、これは炉の扱い方、すなわち、炉の上下の開口部を石綿によって閉塞する処置の差によるものと考えられる。しかし、すべての場合を通じて温度精度はJISの規定の範囲内にあることが確認せられた。

i) 試験片寸法による差

各試験実施場所によつて炉の扱い方に多少の差があるので一概に断定することは困難であるが、G.L. 150mm 1本吊り、G.L. 50mm 2本吊りのごとく加熱炉内の使用範囲の長い場合には、加熱炉内均熱中央部の温度が均熱部上側および下側に比べて常にやや高い温度を示す



第17図 測定点別温度分布 (第1連) (G.L. 50mm 2本吊り)

傾向がある。この1例を第17図に示す。特に G.L. 50mm 2本吊りの場合にはこの傾向が著しい。また、上部試験片の下側、下部試験片の上側が常に高い。

ii) 試験片の内側と外側の差

一般的に内側の温度が外側に比べてやや低い温度を示しているようであるが、その差は試験温度、熱電対と伸び計の装着法および試験実施場所によつて多少異なり、外側、内側の温度差は実際上は問題とならない。

iii) 加熱炉内試験片位置による差

試験の位置(隔壁部屋別)によつて温度に多少の差は認められるようであるが、その差は試験片寸法、装着方法および試験実施場所によつて多少異なっており、この温度差も実際上問題になる程度ではない。

iv) 試験温度による差

試験温度の範囲において試験温度によつて温度変動に差異は認められなかった。

v) 各装着方法による加熱炉内試験片の最大温度偏差

試験期間を通じて加熱炉内の全測定点および全試験片の中で最も大きな偏差を示したものをまとめると大体はJISZ 2272の規定内にあることが分つた。

以上の結果、この種の加熱炉の温度分布は炉の扱い方特に開口部上下のアスベストのつめ方および炉温調節の仕方如何によつて温度変動にかなりの差が生じることが分つた。これらの点に充分留意すれば、JISの規定の温度範囲に入れることも可能であり、かつ、前年度検討したシングル型試験機の加熱炉の場合に比しても殆んど変わらない結果が得られ、クリープ試験加熱炉として採用することができることが認められた。

4.4 試験片の途中取替えしないラプチャー試験による検討

4.4.1 目的

マルチプル型ラプチャー試験機でラプチャー試験を行なう場合、一部試験片の破断が他の試験片のラプチャー試験結果におよぼす影響を調べることを目的とし、この場合全試験片が破断するまで取替を行わず連続試験を行なつて試験項目5の結果と比較する。

4.4.2 検討内容

100, 300, 500, 1000hrの途中取替をしないラプチャー試験による検討

4.4.3 試験

i) 試験材

炭素鋼, Cr-Mo 鋼および 18-8 Mo 鋼

ii) 試験方法

特殊チャックを使用した4つの引張棒にたいして、それぞれあらかじめ求めた応力(第1表に示す)を与え、

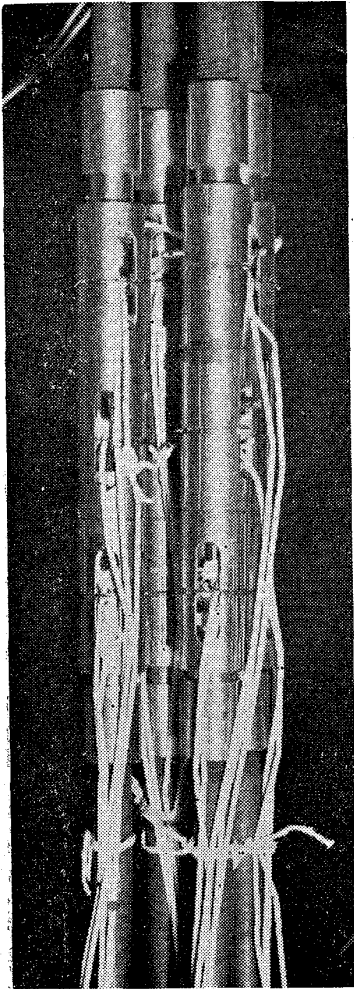


写真16 熱電対取付け状況

熱電対は各試験片の中央に取りつけた。装着の様様を写真 16 に示す。試験温度は炭素鋼 450°C, Cr-Mo 鋼 550°C および 600°C, 18-8 Mo 鋼では 700°C および 800°C とした。昇温は 450°C の場合 4 hr, 700°C の場合は 8 hr で目標温度の 95% に達するようにした。均熱時間, 負荷方法などは JIS にしたがった。

4.4.4 試験結果の要約

i) 温度変動の検討

ラプチャー試験の場合は JISZ 2272 の規定によると, 時間的溫度変動の許容範囲は 400~600°C で±4°C 以下, 600~800°C で±5°C 以下, 800°C 以上では±8°C となっている。本試験の結果では炭素鋼 450°C の 1 例を除き, 他はすべて上の範囲の中に入っており, 時間的溫度変動については充分信頼しうることが分った。また各連の試験片の最大溫度差も上と同様である。

クリープ破断試験を行ない, 試験の途中で試験片が破断しても, 試験片の取替を行なうことなく, そのまま最後の試験片が破断するまで試験が続行できるようにした。すなわち, 試験片が破断すると, 特殊チャックがその試験片に代つて負荷をうけもつのであるが, そのとき試験項目 1 にあるごとく試験片破断のために他の試験片が衝撃をうけ, 破断寿命が影響をうけることが考えられる。本試験ではこのような破断時の衝撃がクリープ破断特性にいかなる影響を与えるかについて, シングル型クリープ試験機によるラプチャー試験結果と比較して検討せんとするものである。

ii) 破断順位および破断時間のばらつき

3 本吊りでラプチャー試験を行なった場合の試験片の破断順位は上, 中, 下の順で起る傾向が強くと, その原因はわずかではあるが炉内温度分布に差があるためと, 炉内の温度分布と破断順位は対応している。

一部化驗片の破断が他の試験片のラプチャー時間におよぼす影響を検討したが, この場合は特殊チャックを使用しているため, 試験片取り付け時のねじのさし込み量, 破断直前の試験片の伸び, 重錘と重錘受けの距離などが結果に影響を与えるようであるが, 明確な判定を下すことは困難である。しかし, 破断時間のばらつきを項目 5 の場合と比較すると, 本項目の場合のばらつきの方が小さいことから, 特殊チャックを用いることにより, 破断時の衝撃がそれを通じて他の試験片に伝わり, 他の試験片の破断時間を早めたということもありうると思われる。

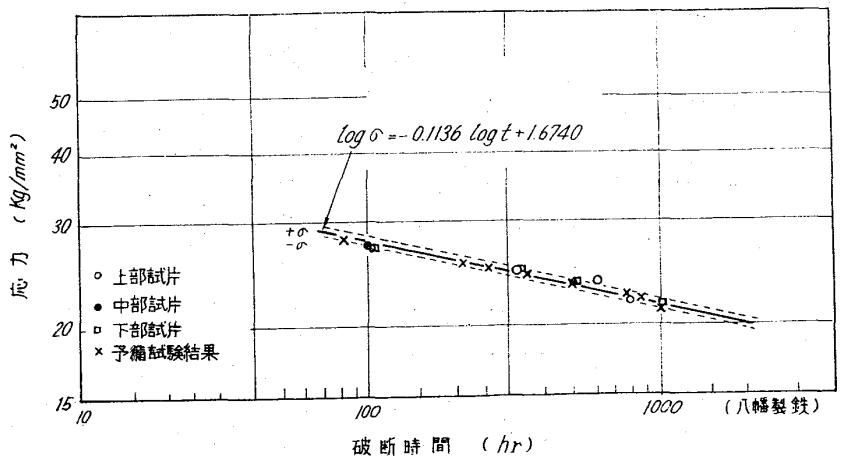
iii) 応力-クリープ破断直線

ラプチャー試験の結果から, それぞれの場合について応力-クリープ破断時間の回帰直線が画かれ(その 1 例を第 18 図に示す) さらに不偏分散の平方根を求め, 詳細な検討が行われた。それをとりまとめて第 3 表に示す。

破断応力のばらつきは, 全試験を通じて不偏分散の平方根  $\sigma$  として  $\pm 0.1 \sim \pm 1.2 \text{ kg/mm}^2$  の範囲内にあり, 長時間破断応力あるいは低応力(高温)試験ほどばらつきは少なかった。おのおの試験値のばらつきは  $\pm \sigma$  の範囲に 68.8% が入っていた。

iv) 特殊チャックを用いない場合(試験項目 5)との比較

各鋼種, 各温度の試験結果について回帰直線を求め, これと項目 5 の試験結果から求めた回帰直線とを比較し, 回帰直線の分散, 勾配および切片について有意差検定を行なった。その結果, 炭素鋼 450°C の場合, 分散が 5% の有意水準で有意差があつたが, 他はすべて有意



第18図 応力-クリープ破断時間曲線 (炭素鋼, 450°C)

第 3 表 応力クリープ破断時間の回帰直線と不偏分散の平方根

試験材	試験温度 °C	回 帰 直 線	$\sigma_{yx}$
炭素鋼	450	$\log \sigma = -0.1136 \log t + 1.6740$	0.0079
		$\log \sigma = -0.1062 \log t + 1.6450$	0.0045
炭素鋼	450	$\log \sigma = -0.1040 \log t + 1.6451$	0.0094
Cr-Mo 鋼	550	$\log \sigma = -0.2698 \log t + 2.0750$	0.0145
	600	$\log \sigma = -0.1453 \log t + 1.4700$	0.0103
18-8Mo 鋼	700	$\log \sigma = -0.1347 \log t + 1.4535$	0.0057
	800	$\log \sigma = -0.1525 \log t + 1.2398$	0.0026

差がなく、したがって特殊チャックを用いたためにクリープ破断時間が影響をうけるということとはできない。

4.5 試験片の途中取替をするラプチャー試験による検討

4.5.1 目的

マルチプル型クリープ試験機でラプチャー試験を行なう場合、一部試験片の破断による衝撃および試験片取替のための試験中断がクリープ破断時間におよぼす影響を検討する。

4.5.2 検討内容

100, 300, 500 および 1000hr ラプチャー試験による検討

4.5.3 試験

- i) 試験材, 炭素鋼, Cr-Mo 鋼および 18-8 Mo 鋼
- ii) 試験方法

本項目における試験においては特殊チャックを用いず 1 本の試験片が破断すると、あらかじめ用意した継手と取り替え、試験温度に昇温調節してさらに残りの試験片の試験を続けた。このようにして、最初に仕込んだ試験片のすべてが破断するまで試験を行ない破断による衝撃、試験の中断の影響を調べた。試験方法としては上記の事項を除き、すべて試験項目 4 と同じである。

4.5.4 試験結果の要約

i) ラプチャー試験の結果から、各材質、各温度のそれぞれの場合について、応力-クリープ破断時間の回帰直線を求め(その 1 例を第 19 図に示す)さらに不偏分散の平方根を求めた。その結果を取りまとめたものが第 4 表である。シングル型試験機で予備試験として求めた結果

も、本試験の結果における  $\pm \sigma$  の範囲にきわめてよく入っており、マルチプル型試験機による試験結果もシングル型試験機による結果と差異がないことがわかった。

ii) 以上の結果より、マルチプル型試験機でラプチャー試験を行なう場合、試験片の破断による衝撃および試験片取替のための試験の中断は、實際上、破断時間に影響をおよぼすほどのものではないといえることができる。

4.6 クリープ試験による検討(試験片の途中取替を行なわない)

4.6.1 目的

マルチプル併用型試験機でクリープ試験を行なう場合の温度精度を検討する。また、この場合、標点距離 150 mm の長い試験片を 1 本吊りにする場合もあるが、試験片採取の効率を考慮して、試験片の長さを標点距離 50 mm にして 1 本吊りの場合の試験精度、およびこれを 2 本吊りにした場合のクリープ試験の精度を検討する。

4.6.2 検討内容

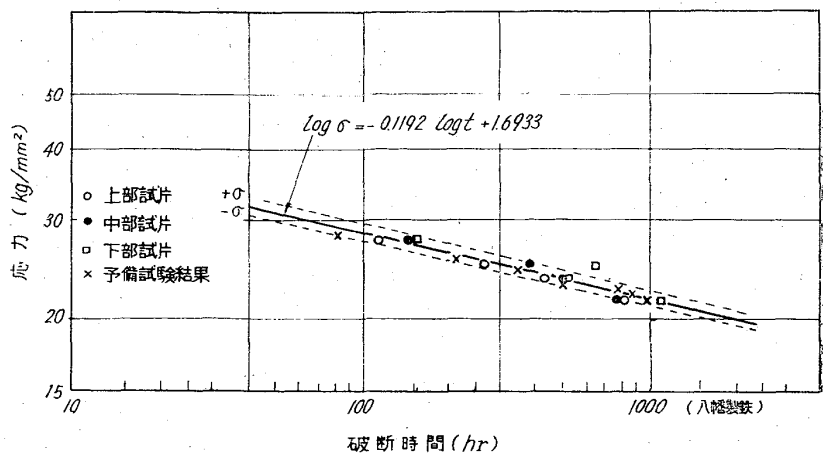
500 hr クリープ試験による検討

4.6.3 試験

- i) 試験材 炭素鋼, Cr-Mo 鋼および 18-8 ステンレス鋼

第 4 表 応力クリープ破断時間の回帰直線と不偏分散の平方根

試験材	試験温度 °C	回 帰 直 線	$\sigma_{yx}$
炭素鋼	450	$\log \sigma = -0.1192 \log t + 1.6933$	0.0138
		$\log \sigma = -0.0981 \log t + 1.6285$	0.0083
Cr-Mo 鋼	550	$\log \sigma = -0.2863 \log t + 2.1146$	0.0089
	600	$\log \sigma = -0.1298 \log t + 1.4091$	0.01069
18-8 Mo 鋼	700	$\log \sigma = -0.1462 \log t + 1.4913$	0.0035
	800	$\log \sigma = -0.1722 \log t + 1.2899$	0.0128



第 19 図 応力-クリープ破断時間曲線 (炭素鋼, 450°C)

第 5 表

試験材	試験温度 °C	試験応力 kg/mm <sup>2</sup>
炭素鋼	450	10.0
Cr-Mo 鋼	550	10.0
18-8ステンレス鋼	700	5.0

ii) 試験方法

試験温度は、炭素鋼 450°C、Cr-Mo 鋼 550°C、18-8 ステンレス鋼 700°C である。

測温のための熱電対は、試験片平行部表面の上、中、下の3カ所にとりつけた。ただし、G.L. 50mm 試験片 2本吊りの場合には、熱電対は上、下2カ所とし、温度の自動記録は、1本吊りの場合は中央の熱電対、2本吊りの場合は上側の試験片の1つの熱電対について行なった。試験応力は第5表によつた。

伸び測定は、荷負後 30min ごとに 6 hr まで連続測定を、それ以後は日中は適当に測定してクリープ曲線を作製した。

試験片ならびに伸び計取り付けの様につぎ、2本吊りの場合を第20図に示す。殊に2本吊りの場合は伸び計の取り付けはきわめて複雑で、伸び計におけるダイヤ

ルゲージは1台の試験機で8個(1本の試験片に1個)となりこれの配置図を第21図に、この場合の実際の取り付けの様を写真17に示す。

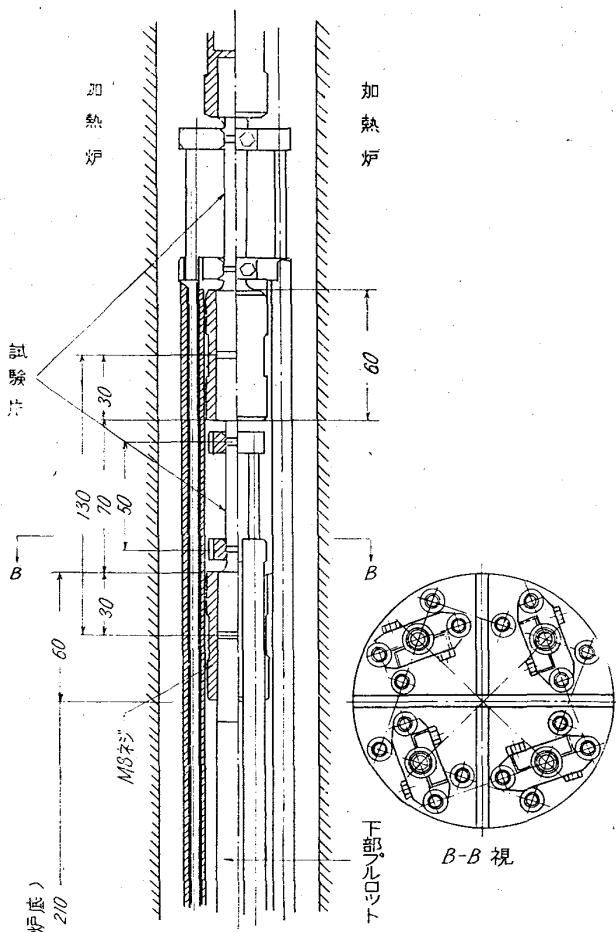
4.6.4 試験結果の要約

i) マルチプル型試験機で 500 hr クリープ試験を行なう場合には温度変動が比較的大きい。特に G.L. 50 mm 2本吊りの場合、または G.L. 150mm 1本吊りの場合に、あるいは温度の低いときには、G.L. 50mm の場合をも含めてこの傾向が著しく、JIS に規定されている温度変動の条件を満足しない。

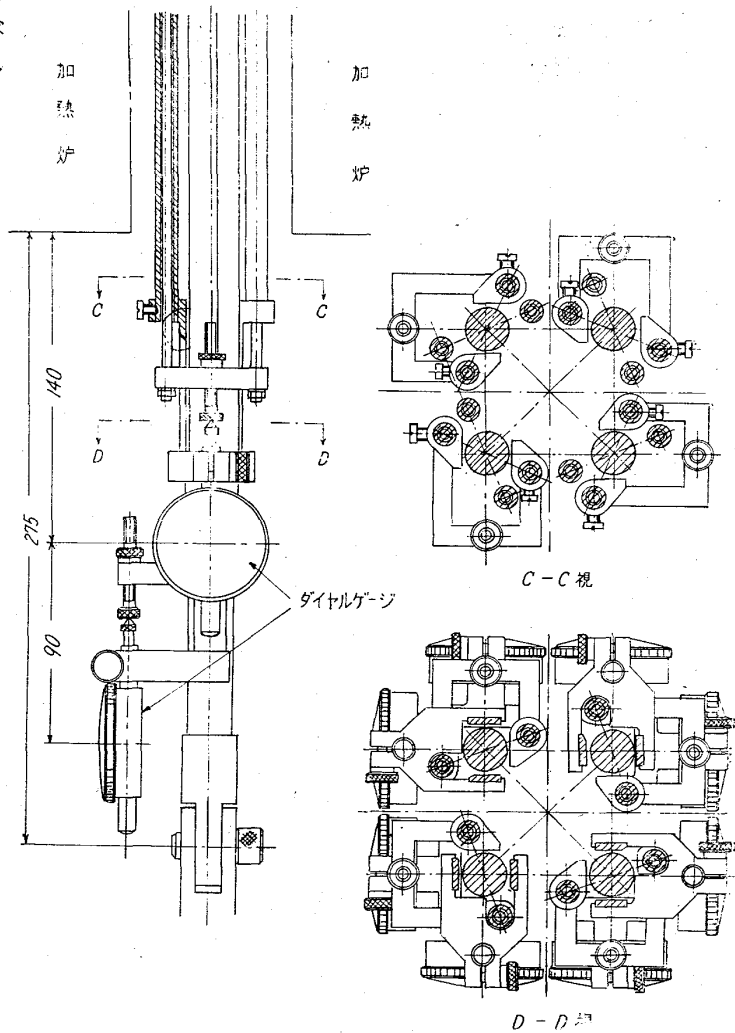
ii) 試験片 2本吊りの場合における試験片の上、下の位置では、伸びの量に差はない。

iii) 試験精度については試験片 1本吊りの方が2本吊りの場合よりも良好である。試験応力が低くクリープ速度の小さい場合は特に2本吊りの試験精度が落ちる。

iv) G.L. の長短はクリープ伸びの測定値に影響は少ない。ゆえに G.L. 50mm をクリープ試験片として採



第20図 2本吊りの場合の加熱炉内伸び計取付け図



第21図 2本吊りの場合のダイヤルゲージ取付け図

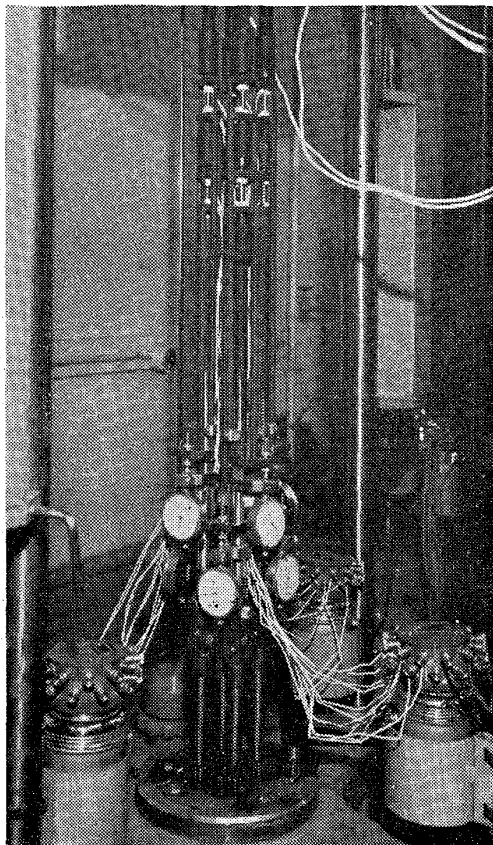


写真17 2本吊りの場合の伸び計取付け状況

用することは可能である。

v) 一般にマルチプル型試験機でクリープ試験を行なうときには、1本吊りの場合でも、シングル型試験機による場合に比して精度が悪い。この傾向は試験温度および応力が低い場合に顕著である。したがって試験温度が高く、応力も高いとき(すなわち測定伸びの大きいとき)にのみ、シングル型試験機と同様な結果を示す。

vi) 以上の結果より、マルチプル型試験機によりクリープ試験を実施しうるのは、次の条件の場合に限られる。

(1) 加熱炉上下開口部、特に下側開口部のカバーを入念に行ない、試験中の温度変動を極力小さくする。

(2) 試験片は1本吊りとし、試験片G.L.は50mm 150mm いずれでもよいが、温度精度の点より前者の方が望ましい。

(3) 試験温度は600°C以上で、試験応力の高い場合。

#### 4.7 輸入機械の検討

##### 4.7.1 目的

国産マルチプル型試験機と英国 Distington 社製マルチプル型試験機の性能を比較しマルチプル型試験機標準化の資料を得る。

##### 4.7.2 検討内容

- i) 試験片破断の影響の検討
- ii) 加熱炉内温度分布およびその時間変動の精密測定
- iii) 試験片の途中取替をするラプチャー試験による検討

##### iv) クリープ試験による検討

#### 4.7.3 試験方法

各検討項目については、前述の国産機の場合の方法に準ずることとした。この場合と異なる点は、輸入機においては、クリープ試験の試験片G.L.は150mmのみであり、また伸び計の取り付け方法はエッジ式である。

#### 4.7.4 試験結果の要約

i) 試験片に生ずる曲り歪の測定値は最大17%で、国産機より2%大きい。しかし、これは輸入機械が必ず国産機より曲り歪が大きいと結論づけることにはならずむしろ、マルチプル型試験機においては一般にこの程度の曲り歪がおこりうる と解すべきである。

ii) ある試験片の破断が他の連の試験片に与える振動は輸入機の方が国産機より大きい。しかし、試験片の途中取替を行なうラプチャー試験の結果では、輸入機と国産機の間で差は認められない。

iii) 加熱炉内の温度測定結果によれば、クリープ試験を行なうために必要な温度精度は、特別な注意を炉の取り扱いにおいて払うことなく、輸入機において満たされる。

iv) 試験片の途中取替するラプチャー試験の結果では国産、輸入両機種ともよく一致している。試験中の温度変動は、同一操炉条件では輸入機の方が小さい。

v) クリープ試験の結果では、同じ条件の場合について国産機と輸入機について比較したが、優劣をつけるのは困難である。

以上の結果より、国産機と輸入機はほぼ同様の性能を有し、炉の取扱いの点において輸入機に若干優位性があると思われる。また、輸入機においても、ラプチャー試験を行なうについては勿論問題はないが、クリープ試験を行なう場合には、試験条件について、国産の場合と同様に十分注意する必要がある。

## 5. 結 言

試験研究の対象として、放射型マルチプル試験機を選び、その標準化を図ることを目的として、試作機を設計製作し、頭記の研究機関に配分、試験を実施した。マルチプル型試験機は1連に3本、1台で4連、計12本の試験片の試験を同時に行なうものであるため、ラプチャー試験においては1本試験片が破断したときの衝撃が他の試験片におよぼす影響、また、試験片相互の温度分布、



またクリープ試験を実施するとすれば伸びの測定精度などが検討の主要項目であつた。本試験研究においては、これらに関連した項目について、各種の試験を行なうとともに、実際のラプチャー試験およびクリープ試験を数種の材料につき各温度段階で行ない、これらの結果をシングル型試験機による試験結果と比較するとともに、英国 Distington 社製マルチプル型試験機による結果とも比較検討した。その結論として、明確に判断を下し得ない点も若干残っているが、本機種標準化にたいして一応の結論を下すことができる。

#### 5.1 ラプチャー試験を行う場合

- i) シングル型と同じ精度をもつて試験できる。
- ii) 作業上、特に問題はないが、加熱炉を改良することによつて、試験を一層容易にすることができる。
- iii) 特殊チャックを使用する場合には、重錘が宙吊りになる可能性もあるので、調整、操作に特に注意を要し一方、チャックの改良も考える必要がある。
- iv) 試験中にうける他試験片の破断の影響をできるだけ少なくするように、試験計画をたてることが望ましい。なお、付記に示されるように、経済性より考えると 1 本当りの試験費用は、マルチプル型 12 本吊りラプチャー試験では、シングル型 1 本吊りの場合の約 1/3 で経済的にきわめて有利である。

#### 5.2 クリープ試験を行なう場合

- i) 試験片温度分布を JIS 規格内に入れるためには、かなりの努力を要する。
- ii) 伸び測定精度はまだ不十分で、特に 2 本吊りクリープ試験の実施は、現状のままではかなりむづかしい。
- iii) 他試験片の影響をうける。

なお、試験費用の試算結果によると、マルチプル型試験機を用いて、4 本同時試験を行なう場合の費用はシングル型とほとんど差はなく、特に経済的な利益はない。

#### (附記) マルチプル型試験機の経済性について

マルチプル型試験機と、シングル型試験機の経済性を 48 本のラプチャー試験を実施する場合、すなわち、4 台のマルチプル型試験機と 48 台のシングル型試験機を用いる場合とについて比較することとし、これらの試験機を既設の研究所に新に付設した場合の単位時間当りの試験費用を、若干の仮定のもとで計算した。

##### (1) 計算の基礎式

$$1\text{hr 当りの試験費用} = 1\text{hr 当りの } a \text{ (設備減価償却費)} + b \text{ (設備費金利)} + c \text{ (人件費)} + d \text{ (電力費)} + e \text{ (設備維持費)}$$

ただしすべての価格は試験片 1 本当たりとする。

右辺の各項目について、現状に即した算定方法を用い現在の経済情勢に基いた実際価格を導入して試算した結果を、シングル型試験機でラプチャー試験を行なう場合の試験費用を 100 として表わすと次のようになる。

附表 1 試験費用の比較

試験機型式	シングル型	マルチプル型			
		専用型		併用型	
同時試験本数	1	4	12	4	12
試験費用	100	86.9	36.2	105	42.1

ただし、上は耐用年数 5 年、1 人当り分担試験片本数 48 本として計算したものである。