

クリープ委員会報告講演

鉄鋼材料の高温引張に関する共通試験の結果について*

平 修 二**

Report of Comparative High Temperature Tensile Testing of Steel

Shūji TAIRA

1. 緒 言

高温引張強さは高温クリープ強さと相まって、高温高圧下で使用される各種構造物の強度設計基準の代表的な強さ基準であり、使用材料および使用温度について両者の関連はすこぶる重要である。すなわち、一般的にいつて高温ではクリープ強さが重要な意味をもつが、これよりやや低い温度範囲では高温引張強さが設計強度値として重要であり、特に、高温圧力容器用材料においては高温引張強さが重要な強度値を与える。わが国においても国産耐熱材料に対する適確な評価を与えるためには、その高温引張強さに対するデータの系統的な集大成が望まれている。そのためには、まず、高温引張試験方法の確立とそれに適した高温引張試験機の設備化が急務であろう。

このような現状からして、わが国においても最近（昭和 41 年 12 月 1 日）、鉄鋼材料の高温引張試験方法に関する規格（JIS G 0567—1966）が制定された*。この規格の特徴は引張速度を規定している点にある。すなわち、降伏点または耐力を求める場合には、その近傍での真のひずみ速度（試験片の標点距離間のひずみ速度）が $0.3\%/min$ 以下またはこれに相当する引張速度で負荷すること、および降伏点または耐力をこえて後破断に至るまでは、上下つかみ部間の相対移動速度を $7.5 \pm 2.5\%/min$ とすることの 2 点である。これは、多くの金属材料の機械的性質がひずみ速度の影響をうけるという一般的事実と ASTM, BS, ISO などの諸外国の規格においてはひずみ速度の規定がなされているのに対して、従来のわが国の JIS においては特に規定がなかったという現状に基づいて定められたものである。

ここで問題となるのは、自動ひずみ速度制御装置をもたない従来の引張試験機によつて上記の規格どおりに試験が行なえるかどうか、その場合の試験方法はどうか、得られた試験結果に信頼性があるか、自動ひずみ速度制御装置を有する試験機によつて得られたデータと比較して相違はないか、種々の鉄鋼材料および試験温度に対して、規定されたひずみ速度範囲が適当であるか、さらに、

ひずみ速度に関する事柄以外に、JIS の試験方法に不備な点はないか、などの諸点である。

以上のような問題点を検討するために、試験方法の規格化と平行して、一昨年末（昭和 41 年 11 月）よりクリープ試験分科会において共通高温引張試験を実施した。本共通試験には 2 種類の試験が含まれている。まず 1 つは、上述の JIS を確認するための試験（A 試験）であり、主として従来の試験機を用いて手動によつてひずみ速度の制御を行なうものである。他の 1 つは、機械的性質におよぼすひずみ速度依存性を検討するための試験（B 試験）であり、ひずみ速度を自動制御できる試験機によつて行なうものである。ただし、試験材料は軟鋼、 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼および 18-8 ステンレス鋼（SUS 27）の 3 種を選び、試験温度はそれぞれ 450, 600, 700°C の 1 段階に限った。本共通試験は一応昨年 5 月末に終了し、その結果はクリープ委員会において報告されたが、これを広く公にしておおかたの参考になれば幸いと思い、ここにとりまとめた結果を報告する。

2. 試験材料および試験方法

2.1 試験材料

本共通高温引張試験の材料は、低炭素鋼（S 15 C）、 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼および 18-8 ステンレス鋼（SUS 27）の 3 鋼種である。これらの化学成分、素材製造履歴、熱処理および常温における機械的性質を表 1 に示す。

試験片素材は 25 mm ϕ （18-8 ステンレス鋼については 22 mm ϕ ） $\times$ 150 mm を 1 本分とし、各鋼種について A 試験用 5 本、B 試験用 15 本が乱数表によつて配布された。

2.2 試験片

試験片の加工は各試験機関において行ない、その形状・寸法は JIS 規格の試験片の項（第 2 項）に従つて決定された。ただし、ある 1 試験機関をのぞいては、すべて図 1 に示すような直径 10 mm、標点距離 50 mm の標準試験片を用いている。

* 昭和 42 年 4 月本会講演大会にて講演
昭和 42 年 7 月 22 日受付

** クリープ委員会技術部会クリープ試験分科会主査
工博

* 本規格原案は当クリープ委員会クリープ試験分科会において審議
作製された。

表 1 供試材の化学成分、製造履歴、熱処理および常温における機械的性質

(1) 低炭素鋼 (製造所: 大同製鋼株式会社)
化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.15	0.20	0.38	0.017	0.020	0.19	0.07	0.10

製造履歴

インゴット → ビレット → 圧延 → 熱処理
90 mm □ 25 mm φ

熱処理

900°C × 2hr → 40°C/hr → 400°C 空冷

常温における機械的性質 (JIS 4号試験片による)

降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞 り %	平均硬さ HrB
27.5	40.5	42.0	68.5	65.4

(2) 2½Cr-1Mo 鋼 (製造所: 株式会社神戸製鋼所)
化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
0.12	0.32	0.59	0.024	0.015	0.08	0.04	2.14	0.90

製造履歴

電気炉溶解 → インゴット → 圧延 → 鍛造 → 熱処理
60 t 4 t 165 mm φ 25 mm φ

熱処理

940°C × 2hr → 炉中冷却

常温における機械的性質 (JIS 4号試験片による)

降 伏 点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %	平均硬さ HrB
25.5	49.9	34	67	77.1

(3) 18-8ステンレス鋼

(製造所: 日本冶金工業株式会社)

化学成分

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
0.058	0.61	1.76	0.035	0.009	9.12	19.64	0.06	0.08

製造履歴

インゴット → ビレット → 圧延 → 熱処理
75 mm □ 22 mm φ

熱処理

1070°C × 15 min → 水冷

常温における機械的性質 (JIS 4号試験片による)

降 伏 点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %	平均硬さ HrB
22.4	59.2	67.1	75.9	148

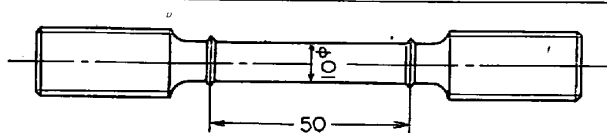


図 1 高温引張試験片

2.3 試験種別

(a) A試験: 何らかの方法で試験片標点間の伸びと試験片つかみ間の移動速度を精度よく測定できる装置を取りつけた試験機によつて、次に述べる試験条件下で引張試験を行なうことを目的とする規格確認試験。

(b) B試験: 試験片標点間のひずみ速度をその降伏点 (あるいは耐力) まで常に一定に自動制御できる試験機を有する機関において、次に述べるような規格に規定されているひずみ速度を含みさらにこれに近い適当な数段階のひずみ速度下で試験を行ない、ひずみ速度依存性を調べることを目的とする試験。

2.4 試験条件

(a) A試験: 試験温度は、低炭素鋼 450°C, 2½Cr-1Mo 鋼 600°C, 18-8 ステンレス鋼 700°C のそれぞれ一段階とする。試験を行なう場合のひずみ速度は JIS (4.2 項) にしたがうものとする。すなわち、降伏点または耐力に達するまではその近傍でのひずみ速度が 0.3 %/min 以下で負荷し、それ以後破断に至るまでは試験片上下つかみ部間の相対移動速度が試験片平行部の 7.5 ± 2.5 %/min に相当するように、なるべく一定速度で負荷する。この際、試験中の試験片標点間のひずみ速度の変動をチェックする。また、降伏点あるいは耐力をすぎてからの速度変換は、その負荷状態のままでできる限りすみやかに行なうものとする。なお、ひずみ速度以外の試験方法もすべて規格にしたがう。

(b) B試験: 各鋼種に対する試験温度は A 試験と同じ。ひずみ速度としては、原則として下記の方法にしたがつて決定する。

降伏点または 0.2% 耐力まで:

0.03, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 %/min の計 5 段階
(降伏点をすぎてからは 7.5 %/min 一定)

降伏点以後:

1.0, 5.0, 7.5, 10, 20 %/min の計 5 段階
(降伏点までは 0.3 %/min 一定)

他の試験方法については規格通りに行なうものとする。

2.5 試験本数

A 試験については 5 本 (データは 3 本以上提出)、B 試験については 15 本 (データは各ひずみ速度に対して 1 本以上、計 10 本以上提出) の試験を行なうものとする。

3. 試験機、ひずみ速度設定方法
およびひずみ測定装置

表 2 は各試験機関 (A 試験実施機関: a ~ m, 計 13, B 試験実施機関: n ~ r, 計 5) における試験機の型式、ひずみ速度設定方法およびひずみ測定装置をまとめたものである。

試験機については、大部分のものがリーレ型の油圧式万能試験機であり、その他にはアムスラー型のものとオートグラフとが用いられている。

ひずみ速度の設定方法としては、A 試験の場合、2, 3 の自動制御をのぞいて、ほとんどの機関が手動によつてひずみ速度の調節を行なっている。その方法は、油圧式あるいはアムスラー型の試験機において、油圧バルブを

表 2 試験機、ひずみ速度設定方法およびひずみ測定装置

試験機名	試験機型式	ひずみ速度設定方法	ひずみ測定装置
試験機	a	定歪精密引張試験機 10 t	電子管式歪速度制御
	b	油圧式万能試験機 10 t	手動による油圧バルブ調節
	c	油圧式万能試験機 50 t	手動による油圧バルブ調節
	d	油圧式万能試験機 50 t	電子管式自動歪速度制御
	e	油圧式万能試験機 30 t	手動による油圧バルブ調節
	f	油圧式万能試験機 50 t	手動による油圧バルブ調節
	g	アムスラー型万能試験機 20 t	手動による油圧バルブ調節
	h	油圧式万能試験機 10 t	手動による油圧バルブ調節
	i	オートグラフ 10 t	自動ひずみ速度制御
	j	オートグラフ 10 t	定クロスヘッド速度
	k	アムスラー型万能試験機 20 t	手動による油圧バルブ調節
	l	油圧式万能試験機 50 t	電子管式自動歪速度制御
	m	アムスラー型万能試験機 10 t	手動による油圧バルブ調節
	n	油圧式万能試験機 10 t	電子管式自動歪速度制御
	o	油圧式万能試験機 200 t	電子管式自動歪速度制御
試験機	p	油圧式万能試験機 30 t	電子管式自動歪速度制御
	q	油圧式万能試験機	電子管式自動歪速度制御
	r	オートグラフ 5 t	自動歪速度制御

調節することによって試験片標点間のひずみ速度を一定に保とうとするものである。したがって、この場合には油圧バルブの位置、クロスヘッドの移動速度、試験片標点間の真ひずみ速度の間の関係が予備試験によって求められているのが普通である。しかし、クロスヘッド移動速度と試験片のひずみ速度との関係は、弾性域と塑性域における試験片のパネ定数の違い、プルロッドの伸びやねじ部のガタ、試験機本体の剛性度などによって左右さ

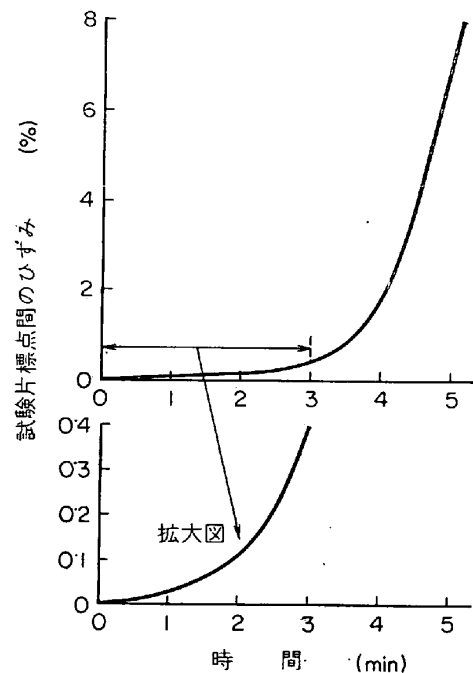


図 2 油圧式万能試験機において油圧バルブの手動調節によって得られるひずみ-時間関係の概略図

れるから、このような手動調節によつて試験開始時から常に一定のひずみ速度を保つことは不可能のようである。図 2 は、油圧バルブの手動調節を行なった場合に得られる試験片のひずみと時間の関係を示す概略図である。特にひずみの小さいところでひずみ速度の変化（増加）が著しい。ただし、調節方法によつては $\epsilon=0.1 \sim 0.5\%$ の範囲でひずみ速度を比較的一定に保つこともできるようなのである。いずれにしても、0.2% 耐力については、その近傍 ($\epsilon=0.2 \sim 0.3\%$) でのひずみ速度の平均値がとられている。また、耐力以後破断に至るまでは、図 2 にみるように、クロスヘッドの移動速度を一定に保てばほぼ一定のひずみ速度が得られるようである。両者の値はほとんど等しいという報告もあるが、試験機の種類や試験温度に依存するものと思われ、明確なことはわかっていない。

以上、A 試験におけるひずみ速度の設定結果から、ひずみ速度に関しては、従来の自動制御装置をもたない試験機によつて JIS 規格通り、0.2% 耐力近傍のひずみ速度を 0.3%/min 以下に設定できることがわかった。しかしながら、厳密に言えば、本試験材料以外の材料やほかの試験温度についても同様に試験可能であるかどうか、0.2% 耐力に至るまでのひずみ速度の変化がどのような影響を及ぼすものか、といった問題点が残されている。

B 試験におけるひずみ速度設定方法は、油圧式試験機と電気式試験機（オートグラフ）とで負荷方法の相違によるひずみ速度制御方式の違いがあるが、いずれも試験片標点間の伸び測定用差動トランス（DTF あるいは LVDT）の出力をフィード・バックして単位時間当たりの伸びを一定に保つように試験機のクロスヘッドを移動させるものである。したがって、0.2% 耐力近傍にかぎらず、試験中常に一定のひずみ速度に保持できる原理である。

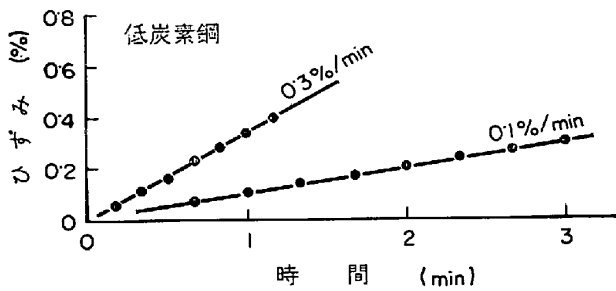


図 3 電子管式自動ひずみ速度制御装置をそなえた油圧式万能試験機によるひずみ-時間線図の一例

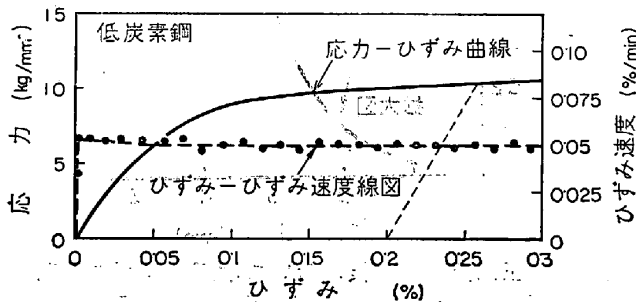


図 4 自動ひずみ速度制御装置をそなえたオートグラフによる応力-ひずみ曲線とひずみ-ひずみ速度線図の一例

図 3 は、油圧式万能試験機において電子管式自動ひずみ速度制御装置によって制御した場合のひずみと時間の関係を示す一例である。また、図 4 は、オートグラフにおいて自動ひずみ速度制御を行なった場合の応力-ひずみ曲線とひずみ-ひずみ速度線図の一例である。

また、B 試験において、耐力以後のひずみ速度については、ストレインペーサーによってクロスヘッド速度を一定に保つた機関と耐力以後も同様に自動制御を行なった機関とに大別できるが、ひずみ速度の一定保持精度は大差ないようである。

以上の結果から、降伏点あるいは耐力のように、ひずみの小さなところの flow stress に及ぼすひずみ速度の影響を検討するためにその付近でのひずみ速度を一定に保持したい場合には、B 試験で用いられたような自動制御装置をそなえた試験機が必要であるといえる。

4. 試験結果

4.1 A 試験の結果

A 試験の結果を表 3 (1), (2) および (3) に示す。(1) は 0.15% 炭素鋼 (450°C), (2) は 24Cr-1Mo 鋼 (600°C), (3) は 18-8 ステンレス鋼 (700°C) であつて、それぞれ、試験片番号、ひずみ速度、0.2% 耐力、引張強さ、伸び、絞り、加熱時間および均熱時間を一覧表にしたものである。

各試験機関における 0.2% 耐力、引張強さ、伸びおよび絞りの平均値およびそれらの上下限範囲を図に示したものが図 5 および 6 である。

4.2 B 試験の結果

同様に、B 試験の結果を表 4 (1), (2) および (3) に

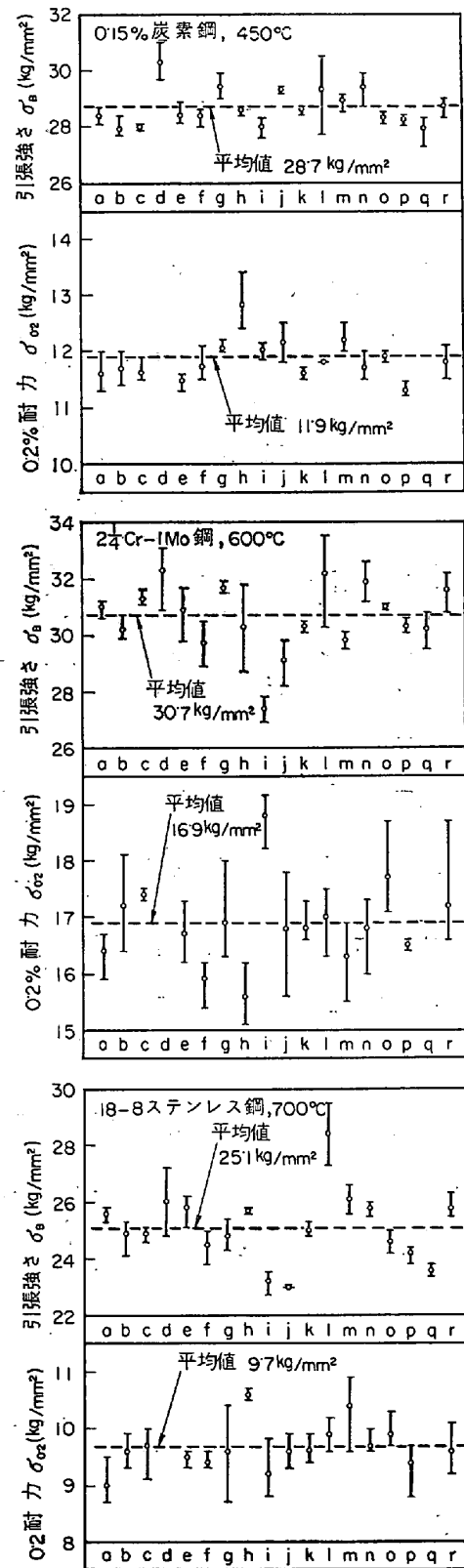


図 5 (3) 0.2% 耐力および引張強さ (A 試験結果)

表 3 試 験 結 果 一 覧 表 (A 試験)

(1) 0.15%炭素鋼 (450°C)

試験機 関 名	試験片 番 号	ひずみ速度(%/min)		試 験 結 果				加熱時間 (min)	均熱時間 (min)
		0.2% 耐力まで	耐力以後	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)		
a	3	0.126	10	11.3	28.1	32	76	45	27
	4	0.102	10	12.0	28.5	50	78	40	23
	5	0.104	10	11.5	28.7	42	77	35	23
b	1	1.50 *1 (0.33)	7.1	11.6	28.4	55.6	78.2	120	20
	2	0.86 (0.26)	6.5	11.4	27.7	53.2	79.1	120	20
	3	1.00 (0.40)	7.1	12.0	27.7	53.6	79.1	60	20
	4	1.20 (0.47)	6.8	11.7	27.9	52.0	78.8	240	150
	5	1.20 (0.36)	6.9	11.8	28.0	52.0	78.6	120	20
c	4	0.24 *2 (0.15)	6.5	11.5	27.9	47.8	79.3	85	15
	5	0.21 (0.13)	7.4	11.9	28.1	47.0	78.8	95	20
	6	0.24 (0.12)	6.5	11.5	28.0	47.0	78.8	90	20
d	1		7.5		31.0	34.2	75.9	105	
	2		7.5		29.7	42.6	75.9	110	
	3		7.5		30.3	40.6	75.5	155	
e	2	0.24	6.12	11.3	28.2	46.5	76.4	75	15
	4	0.28	10.42	11.5	29.0	46.1	76.9	40	15
	7	0.21	8.76	11.6	28.1	47.0	75.9	30	15
f	1	0.2		11.6	28.6	42.2	77.9	120	15
	2	0.4		12.1	28.5	43.9	78.8	100	15
	4	0.16		11.5	28.0	43.0	78.8	90	15
g	3	0.44	7.6	12.2	29.0	40.3	77.3	69	24
	4	2.52	8.4	12.0	29.0	41.9	76.9	84	20
	5	0.44	8.8	12.0	29.3	42.3	76.4	65	14
	6	0.53	13.2	12.0	29.6	40.4	76.4	73	16
	7	0.46	9.2	12.1	29.9	40.5	76.0	90	19
h	3	0.212	7.76	13.4	28.7	51.8	77.8	30	23
	4	0.260	7.36	12.7	28.6	46.7	77.1	41	15
	5	0.156	6.22	12.4	28.4	48.9	78.0	76	15
i	A16(1)		7.5	11.86	28.30	40.0	76.0		15
	D15(1)		7.5	12.09	27.61	38.4	68.6		15
	D15(3)		7.5	12.10	28.09	37.1	76.5		15
j	1	0.308 (0.296)	5	12.1	29.2	25.8	78.4	35	15
	2	0.318 (0.283)	5	12.5	29.3	28.1	77.9	65	15
	3	0.288 (0.242)	5	11.8	29.2	22.6	77.0	50	15
	4	0.339 (0.323)	5	12.2	29.4	30.3	78.4	50	15
k	1	0.2	5.5	11.7	28.7	50.0	77		30
	2	0.2	5.5	11.5	28.7	48.0	78		30
	3	0.2	5.5	11.5	28.4	44.2	77		30

試験機 関 名	試験片 番 号	ひずみ速度(%/min)		試 験 結 果				加熱時間 (min)	均熱時間 (min)
		0.2% 耐力まで	耐力以後	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)		
l	3	0.22	7 *4	11.8	29.6	37	75	25	15
	4	0.22	7	11.8	27.7	39	76	25	15
	5	0.22	7	11.8	30.5	37	74	25	15
m	3	0.23	8.2	12.5	29.0	46.6	78.6	22	15
	4	0.22	7.3	12.1	29.1	46.0	77.6	20	15
	5	0.29	9.1	12.0	28.5	45.7	77.8	20	15
n	A 1	0.20	7.5	12.0	29.9	45.0	77.0	30	17
	C 1	0.20	7.5	11.7	29.6	44.0	77.0	20	15
	D 1	0.20	7.5	11.5	28.7	44.0	77.0	16	15
o	1-3 *3	0.28	7.5	11.8	28.5	54	77	45	20
	2-2	0.25	7.5	12.0	28.1	53	78	50	15
	3-0	0.25	7.5	11.8	28.2	54	78	60	25
p	2	0.12	7.6	11.4	28.1	52.3	78.5	28	15
	4	0.09	7.7	11.2	28.4	49.0	78.0	40	15
	5	0.13	8.6	11.4	28.0	53.2	78.7	31	17
q	A18-3	0.3	7.6		27.3	41.4	75.79	180	35
	A10-4	0.3	7.64		28.3	43.5	76.23	160	70
	B22-2	0.3	7.60		28.0	46.7	76.39	165	65
r	10	0.34	9.2	12.1	29.0	40.5	76.3	110 *5	40
	11	0.32	9.0	11.5	28.3	36.2	76.1	90	30
	12	0.36	6.1	11.7	28.9	39.3	76.8	50	40

(2) 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼 (600°C)

a	100	0.126	10	15.9	30.6	38	87	45	20
	108	0.107	10	16.5	31.2	34	86	30	19
	122	0.104	10	16.7	31.2	37	87	35	28
b	64	1.00 *1 (0.14)	4.8	16.8	29.9	48.0	87.0	120	15
	88	0.55 (0.18)	5.7	18.1	30.2	45.0	87.5	132	30
	136	0.75 (0.32)	4.7	17.6	30.2	40.4	87.0	120	20
	188	0.86 (0.28)	5.4	16.4	29.9	41.2	87.4	120	25
	222	2.00 (2.16)	6.2	17.1	30.7	45.2	87.7	180	20
c	187	0.24 *2 (0.21)	8.0	17.3	31.6	38.1	85.6	77	18
	202	0.23 (0.17)	7.5	17.4	31.1	37.8	85.6	70	15
	207	0.25 (0.13)	7.8	17.5	31.1	37.0	85.6	83	15
d	20		7.5		30.9	32.4	85.5	85	
	114		7.5		32.2	31.6	85.5	150	
	175		7.5		33.1	29.8	85.5	130	
	197		7.5		33.0	22.8	85.5	130	
	210		7.5		32.1	31.6	86.3	190	
e	92	0.22	6.68	16.6	29.8	37.7	86.9	90	15
	201	0.24	8.76	17.3	31.7	35.9	86.6	45	15
	206	0.20	6.32	16.2	31.1	33.6	86.0	45	15

試験機 関 名	試験片 番 号	ひずみ速度 (%/min)		試 験 結 果				加熱時間 (min)	均熱時間 (min)
		0.2% 耐力まで	耐力以後	0.2% 耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)		
f	43	0.12		16.2	30.5	36.4	87.7	100	15
	70	0.10		15.4	29.7	43.8	88.4	90	20
	98	0.09		16.2	28.9	37.5	89.0	90	15
g	28	0.38	8.6	16.7	31.6	36.5	85.9	130	30
	61	0.25	8.8	16.7	31.9	33.6	85.5	88	16
	68	0.20	9.2	16.3	31.9	34.2	85.2	87	21
	189	0.25	6.2	18.0	31.6	35.4	86.7	152	19
	199	0.20	8.8	16.8	31.6	34.0	85.5	121	25
h	22	0.152	8.44	15.6	30.4	40.0	85.3	51	15
	63	0.204	5.88	15.1	28.7	45.9	86.5	96	15
	103	0.208	7.04	16.2	31.8	40.7	86.5	105	15
i	58		7.5	18.21	26.92	31.4	88.2		15
	65		7.5	19.11	27.55	32.0	88.8		15
	193		7.5	19.16	27.81	32.8	87.4		15
j	39	0.386 (0.379)	5	16.3	29.2	32.0	86.8	70	15
	45	0.333 (0.273)	5	16.9	28.4	47.8	88.8	45	15
	73	0.297 (0.288)	5	17.8	29.7	37.8	86.8	45	15
	179	0.320 (0.355)	5	15.6	28.2	37.6	86.0	55	15
	221	0.448 (0.335)	5	17.5	29.8	45.8	88.1	35	15
k	35	0.2	5.5	16.6	30.1	40.6	87		30
	123	0.2	5.5	17.3	30.4	34.2	86		30
	170	0.2	5.5	16.6	30.5	34.8	85		30
l	34	0.22	7 *4	17.2	33.5	29	84	31	15
	93	0.22	7	16.3	30.3	31	88	30	15
	208	0.22	7	17.5	32.7	31	86	30	15
m	111	0.12	5.1	16.6	30.1	37.5	86.0	22	15
	137	0.19	5.3	16.9	29.5	40.7	87.8	20	15
	142	0.26	7.1	15.5	29.8	39.8	87.0	20	15
n	17	0.20	7.5	16.0	31.2	37.0	85.6	27	15
	23	0.20	7.5	17.3	32.6	39.0	84.8	20	15
	25	0.20	7.5	16.8	31.7	36.0	85.6	40	16
	185	0.20	7.5	17.2	32.2	37.0	84.8	33	17
o	72*3	0.28	7.6	17.1	31.1	45	85	70	35
	160	0.25	7.6	18.7	30.9	43	87	25	25
	173	0.26	7.5	17.2	30.9	39	86	35	20
p	16	0.13	6.9	16.6	30.6	46.6	86.8	47	15
	32	0.15	7.1	16.5	30.1	43.9	86.9	55	16
	36	0.16	8.1	16.4	30.1	48.7	87.8	36	16
q	115	0.3	7.64		30.8	36.9	84.56	165	35
	233	0.3	7.72		29.5	42.5	86.68	145	70
	243	0.3	7.56		30.4	37.4	85.36	120	85
r	117	0.26	7.0	18.7	32.2	35.1	85.9	100 *5	15
	128	0.27	7.0	16.8	30.8	39.8	86.4	135	15
	156	0.25	7.2	17.1	31.9	37.0	87.1	120	15
	171	0.24	6.7	16.6	31.5	44.8	87.7	100	15

(3) 18-8ステンレス鋼 (700°C)

試験機 関 名	試験片 番 号	ひずみ速度 (%/min)		試 験 結 果				加熱時間 (min)	均熱時間 (min)
		0.2% 耐力まで	耐力以後	0.2% 耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)		
a	171	0.110	10	8.8	25.3	48	67	60	29
	182	0.112	10	9.5	25.8	52	66	48	20
	188	0.117	10	8.7	25.6	52	68	48	20
b	65	1.50 *1 (0.48)	6.7	9.3	25.0	57.8	69.3	120	15
	94	0.75 (0.27)	8.2	9.6	25.3	55.2	66.2	120	15
	149	0.75 (0.40)	6.1	9.6	25.0	57.6	65.1	150	30
	157	1.00 (0.20)	3.8	9.9	24.1	62.0	71.7	150	20
c	58	0.27 *2 (0.22)	5.8	9.1	24.6	59.0	65.2	113	15
	73	0.27 (0.18)	7.5	9.9	25.1	58.0	65.2	82	16
	114	0.34 (0.18)	8.5	10.0	25.0	60.4	67.5	86	15
d	27		7.5		27.2	39.6	68.6	100	
	39		7.5		26.7	42.6	69.7	70	
	68		7.5		26.3	44.8	70.8	125	
	168		7.5		24.8	46.0	66.7	65	
	178		7.5		25.2	47.0	68.6	200	
e	70	0.20	6.86	9.6	26.2	53.2	65.4	120	15
	99	0.24	7.82	9.5	25.1	59.0	66.5	45	15
	175	0.30	8.08	9.3	26.0	52.1	64.0	90	15
f	110	0.12		9.3	23.8	57.8	62.8	150	15
	128	0.27		9.4	25.0	50.9	63.4	150	20
	169	0.20		9.6	24.6	54.0	66.5	120	20
g	71	0.13	10.6	9.9	25.4	52.3	68.1	78	46
	120	0.13	6.8	8.7	24.3	51.2	69.2	80	19
	130	0.17	8.6	10.4	24.9	55.6	68.0	75	31
	151	0.29	8.6	9.3	24.9	56.3	68.6	55	19
	162	0.17	7.4	9.7	24.3	53.6	67.4	55	28
h	77	0.184	8.00	10.7	25.7	59.2	67.3	72	15
	129	0.240	9.64	10.5	25.8	55.6	67.2	55	15
	131	0.204	6.92	10.6	25.6	60.8	61.9	33	15
i	4		7.5	8.92	23.20	39.2	67.6		15
	86		7.5	8.80	23.54	47.7	65.7		15
	106		7.5	9.82	22.70	42.7	69.7		15
j	80	0.410 (0.381)	5	9.5	23.0	64.5	65.2	65	15
	159	0.296 (0.311)	5	9.3	23.1	59.9	65.2	40	15
	195	0.300 (0.300)	5	9.9	23.0	69.0	65.8	45	15
k	42	0.2	5.5	9.6	25.3	62.6	66		30
	46	0.2	5.5	9.9	24.8	61.6	67		30
	202	0.2	5.5	9.4	24.9	55.2	68		30
l	18	0.22	7 *4	9.6	27.3	41	64	38	15
	39	0.22	7	9.9	28.5	40	68	38	15
	64	0.22	7	10.2	29.5	40	70	38	15

試験機 関 名	試験片 番 号	ひずみ速度 (%/min)		試 験 結 果				加熱時間 (min)	均熱時間 (min)
		0.2% 耐力まで	耐力以後	0.2% 耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)		
m	57	0.22	8.4	9.6	26.0	49.8	65.4	30	15
	163	0.14	7.0	10.9	26.6	48.4	65.5	30	15
	201	0.22	9.0	10.7	25.6	51.2	66.5	30	15
n	1	0.20	7.5	9.6	26.0	53.0	64.0	29	15
	20	0.20	7.5	9.6	25.5	54.0	64.0	24	16
	166	0.20	7.5	10.0	25.9	52.0	65.2	26	18
o	14 ^{*3}	0.26	7.5	9.7	24.6	60	66	35	20
	103	0.25	7.5	10.3	25.0	58	63	30	25
	141	0.26	7.5	9.7	24.2	54	67	25	35
p	30	0.16	6.3	9.7	23.8	64.5	64.0	34	15
	161	0.17	8.1	9.6	24.4	59.3	63.5	30	17
	207	0.14	8.5	8.8	24.4	57.0	64.8	30	20
q	11	0.3	7.9		23.4	59.1	67.22	170	45
	125	0.3	7.8		23.8	57.9	69.81	125	35
	167	0.3	7.6		23.6	58.3	66.65	145	45
r	90	0.27	6.6	9.2	25.6	58.4	64.1	120 ^{*5}	15
	100	0.26	8.2	9.3	26.3	55.0	68.9	180	15
	102	0.26	7.5	10.2	25.5	63.4	70.6	130	25

備考 *1, *2 ()内の値は 0.2% 耐力までのひずみ速度の平均値

*3 試験片寸法: OD=8 mm ϕ , GL=50 mm

*4 クロスヘッド移動速度は 7.5%/min

*5 200°C 以上の加熱時間は 40~80 min

表 4 試 験 結 果 一 覧 表 (B試験)

(1) 0.15% 炭素鋼

試験機 関 名	試験片 番 号	ひずみ速度 (%/min)		試 験 結 果				加熱時間 (min)	均熱時間 (min)
		0.2% 耐力まで	耐力以後	0.2% 耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)		
n	A 2	0.04	7.5	11.5	28.7	45.0	77.9	37	15
	D 5	0.04	7.5	11.3	27.6	38.0	77.9	15	17
	A 3	0.1	7.5	11.7	28.4	46.0	77.9	15	15
	A 4	0.3	7.5	12.0	29.0	43.0	77.0	13	15
	D 4	1.0	7.5	12.2	29.4	44.0	77.0	20	17
	C 2	0.32	1.0	12.1	27.3	46.0	78.8	33	17
	C 7	0.30	1.0	12.1	27.5	46.0	79.7	25	15
	C 3	0.32	2.0	12.2	27.5	48.0	78.8	30	15
	D 3	0.29	2.0	12.1	28.3	45.0	78.8	19	15
	C 4	0.29	5.0	11.9	28.6	45.0	77.0	20	15
	C 5	0.29	10	12.1	29.9	44.0	77.0	27	15
	C 6	0.29	20	11.7	30.4	43.0	77.0	20	15
o	4-3	0.033	7.5	11.3	28.4	53	78	25	24
	5-0	0.11	7.5	12.1	28.2	51	77	28	22
	6-2	0.28	7.5	12.3	28.3	54	77	36	24
	7-0	0.99	7.5	12.1	28.3	54	78	25	17
	8-3	2.7	7.5	12.8	28.4	56	79	25	25
	9-2	0.31	1.0	12.1	25.8	56	80	25	15
	10-0	0.31	2.0	11.9	26.6	53	80	29	18
	11-3	0.31	5.0	12.1	27.6	54	78	17	33
	12-3	0.30	10	12.1	28.4	54	78	40	15
	13-0	0.31	18	11.8	28.8	53	78	35	35

試験機 関 名	試験片 番 号	ひずみ速度 (%/min)		試 験 結 果				加熱時間 (min)	均熱時間 (min)
		0.2% 耐力まで	耐力以後	0.2% 耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)		
P	B1-4	0.02	7.3	10.8	27.8	48.4	78.0	23	15.8
	B23-3	0.12	8.4	11.3	28.5	48.3	77.5	24	17.3
	B1-2	0.36	8.5	11.5	28.0	48.7	78.0	28	15
	A3-2	1.2	8.3	11.9	28.1	49.5	77.4	30	17
	A3-5	3.4	8.3	12.4	28.1	49.1	76.4	33	16
	A3-4	0.3	1.3	11.5	26.5	48.7	79.1	27	15.7
	A3-6	0.3	2.4	11.6	26.5	54.6	79.0	30	20.5
	B1-3	0.3	4.7	11.7	27.3	48.1	78.0	30	16.5
	B1-5	0.3	9.3	11.1	28.0	49.8	77.4	26	15.9
	B1-7	0.3	19.6	11.6	29.0	43.4	76.5	28	15.1
Q	B22-1	0.02	7.76		27.9	44.1	77.43	190	50
	A18-1		7.64		27.8	44.3	77.01	170	55
	A10-5	0.1	7.60		28.0	46.7	76.50	150	55
	A18-3	0.3	7.6		27.3	41.4	75.79	180	35
	A10-4	0.3	7.64		28.3	43.5	76.23	160	70
	B22-2	0.3	7.60		28.0	46.7	76.39	160	65
	A18-5	1	7.76		28.1	45.1	77.16	180	40
	B22-8	3	7.84		28.1	45.2	77.39	170	60
	B22-4	0.3	0.994		26.1	41.8	78.84	200	60
	A10-1	0.3	1.98		26.7	47.4	77.95	210	30
	A10-2	0.3	5.2		27.2	45.4	77.25	150	35
	B22-7	0.3	10.5		28.0	39.6	75.73	140	45
	A18-8	0.3	20.1		29.3	42.6	75.30	180	45
	8	0.050	8.8	10.3	28.3	37.6	77.9	150	30
	9	0.13	8.9	11.5	28.2	38.0	76.5	120	15
	11	0.32	9.0	11.5	28.3	36.2	76.1	90	30
R	13	0.37	9.3	11.3	28.8	46.6	77.6	60	20
	18	1.2	9.8	11.9	29.0	46.6	77.9	120	25
	19	1.3	9.5	11.9	28.9	42.6	77.3	90	30
	20	4.4	8.7	12.4	29.2	51.5	78.9	120	30
	17	0.23	1.3	11.6	26.4	55.9	79.8	90	30
	16	0.24	2.6	11.6	27.9	41.8	78.0	120	25
	12	0.36	6.1	11.7	28.9	39.3	76.8	50	40
	14	0.37	13.9	11.8	28.7	42.5	78.5	70	25
	15	0.36	24.4	11.5	29.3	41.4	77.9	100	15

(2) 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼 (600°C)

n	60	0.04	7.5	15.9	31.1	39.0	86.3	27	15
	66	0.1	7.5	17.1	32.5	35.0	84.8	28	15
	69	0.3	7.5	17.5	32.5	35.0	85.6	25	20
	94	1.0	7.5	17.8	32.3	37.0	84.8	29	15
	150	0.29	1.0	16.6	29.3	40.0	87.0	33	15
	152	0.29	2.0	17.9	31.3	37.0	85.6	20	15
	153	0.29	5.0	17.3	32.2	36.0	84.8	42	15
	154	0.29	10	16.7	32.6	35.0	84.0	20	17
	182	0.29	20	17.3	33.1	33.0	84.8	40	15
	105	0.033	7.7	17.4	31.2	46	86	30	30
o	13	0.11	7.5	16.4	30.5	44	87	30	20
	9	0.33	7.5	16.5	30.7	45	87	30	20
	194	1.0	7.5	16.3	31.5	43	86	25	23
	83	3.1	7.5	17.5	30.5	44	88	30	20
	38	0.32	1.0	16.8	26.3	53	89	40	45
	89	0.30	2.0	16.8	26.9	49	89	30	35
	1	0.30	5.0	17.0	28.7	49	89	30	20
	164	0.30	10	16.8	30.0	41	87	15	20
	147	0.31	18	18.4	32.0	36	86	20	30

試験機 関 名	試験片 番 号	ひずみ速度 (%/min)		試 験 結 果				加熱時間 (min)	均熱時間 (min)
		0.2% 耐力まで	耐力以後	0.2% 耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)		
P	196	0.02	8.9	16.0	30.6	41.5	88.1	25	19
	148	0.13	8.6	16.1	30.0	44.9	87.8	25	18
	116	0.34	9.0	17.6	31.0	42.0	87.1	27	19
	27	1.2	8.7	16.9	29.7	36.9	87.4	25	17.6
	216	3.4	9.0	18.7	30.7	40.2	86.9	30	18.8
	139	0.3	1.2	17.5	27.8	41.6	88.3	28	17
	129	0.3	2.0	16.0	28.1	48.7	88.7	25	15.6
	8	0.3	5.0	16.0	28.9	38.8	87.9	23	15.8
	155	0.3	8.9	16.0	29.5	40.4	87.5	25	15.3
	50	0.3	19.7	16.5	31.5	36.8	86.9	34	18.2
q	220	0.02	7.72		30.4	36.2	84.62	170	50
	12	0.1	7.80		29.4	39.7	86.89	185	40
	115	0.3	7.64		30.8	36.9	84.56	165	35
	204	1	7.76		29.7	37.7	86.16	160	40
	56	3	7.72		29.7	40.6	86.71	190	50
	232	0.3	1.0		27.1	48.9	88.33	130	85
	169	0.3	1.82		27.8	44.7	88.12	195	35
	47	0.3	5.18		28.8	45.8	86.49	220	30
	166	0.3	10.2		30.5	36.3	85.32	150	38
	31	0.3	20.4		31.1	36.7	85.36	195	30
r	67	0.056	8.7	17.9	32.7	37.9	85.3	100	15
	24	0.056	8.7	15.9	31.6	38.7	85.9	120	25
	95	0.13	8.6	15.9	31.5	41.1	86.2	80	20
	3	0.26	9.0	17.1	32.2	35.8	87.6	80	30
	37	0.26	8.9	16.9	31.7	37.1	87.5	110	20
	75	0.27	9.3	19.0	33.2	38.4	86.8	110	25
	161	0.33	9.1	18.5	32.9	32.2	84.8	150	15
	80	1.2	11.5	16.8	31.2	37.4	86.4	110	20
	126	3.0	8.7	17.4	31.7	43.1	87.2	200	30
	213	0.25	1.4	18.5	29.9	46.9	86.3	150	10
	51	0.25	2.8	17.5	29.1	37.2	86.4	150	10
	131	0.27	2.7	17.5	29.8	50.6	88.1	135	10
	171	0.24	6.7	16.6	31.5	44.8	87.7	100	15
	78	0.26	13.4	17.7	33.5	40.8	86.4	170	10
	133	0.27	33.5	17.5	33.9	35.0	86.1	80	20

(3) 18-8ステンレス鋼 (700°C)

n	152	0.04	7.5	9.4	26.9	52.0	67.5	44	15
	60	0.1	7.5	10.0	26.2	53.0	66.4	53	18
	146	0.3	7.5	10.6	26.2	52.0	65.2	24	15
	78	1.0	7.5	10.2	25.7	55.0	66.4	58	16
	191	0.29	1.0	9.6	22.5	54.0	59.6	26	16
	136	0.29	2.0	8.8	23.5	56.0	64.0	28	15
	126	0.29	5.0	10.2	25.8	52.0	64.0	25	15
	127	0.29	10	10.2	26.6	51.0	66.4	23	15
	196	0.30	20	10.1	27.8	46.0	66.4	40	15
o	83	0.036	7.5	10.1	24.5	59	68	15	25
	10	0.11	7.5	9.2	25.0	59	65	20	25
	62	0.31	7.5	10.0	25.3	59	69	20	20
	108	0.96	7.5	10.2	24.5	60	63	15	15
	192	3.0	7.5	9.6	24.5	60	68	20	20
	123	0.30	1.0	9.9	21.1	63	61	15	16
	45	0.31	2.0	9.7	21.6	64	64	15	25
	148	0.31	5.0	10.0	23.9	63	64	25	17
	185	0.31	10	9.8	25.1	54	61	14	16
	59	0.31	20	9.9	26.2	51	66	11	25

試験機 関 名	試験片 番 号	ひずみ速度 (%/min)		試 験 結 果				加熱時間 (min)	均熱時間 (min)
		0.2% 耐力まで	耐力以後	0.2% 耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)		
P	138	0.02	7.9	10.0	24.7	54.3	63.9	33	23.3
	93	0.12	8.3	9.5	24.2	55.9	64.4	40	15.4
	189	0.37	8.0	9.3	24.5	55.4	63.9	34	16.5
	177	1.2	8.0	9.6	24.5	51.6	64.0	30	16.4
	32	3.8	8.0	9.5	24.9	52.1	63.3	27	15.0
	41	0.3	0.9	9.3	20.2	59.8	61.8	26	18.3
	48	0.3	1.5	10.0	21.2	65.1	62.8	30	15.5
	33	0.3	4.4	9.7	23.3	58.8	63.8	25	16.7
	35	0.3	9.0	7.9	24.0	60.3	65.1	35	18.1
	88	0.3	17.6	9.1	25.7	56.2	67.9	26	16.0
Q	113	0.02	7.52		24.0	59.6	69.53	125	50
	72	0.1	7.64		24.0	61.6	72.96	170	50
	125	0.3	7.8		23.8	57.9	69.81	125	35
	22	1	7.64		23.8	57.6	68.08	135	50
	204	3	7.55		23.5	58.0	65.58	150	45
	50	0.3	1		20.2	68.5	68.14	130	115
	203	0.3	2		21.3	64.0	68.08	120	85
	158	0.3	5.2		23.2	59.1	68.70	140	55
	105	0.3	10.4		24.2	53.8	69.81	160	50
	69	0.3	20.2		25.7	54.6	73.78	145	65
R	21	0.053	7.9	9.2	25.3	57.7	67.7	110	15
	117	0.14	8.4	9.5	25.9	65.4	67.6	120	25
	102	0.26	7.5	10.2	25.5	63.4	70.6	130	25
	100	0.26	8.2	9.3	26.3	55.0	68.9	180	15
	173	1.2	8.9	10.1	26.3	54.1	63.6	130	30
	194	1.2	9.1	10.3	25.9	57.2	63.8	100	20
	49	4.5	7.8	9.3	25.6	59.7	68.2	120	15
	205	5.0	8.6	9.7	25.7	62.8	68.2	180	30
	183	0.27	1.4	8.9	22.8	57.1	59.5	110	15
	109	0.25	1.3	9.9	22.2	68.0	63.5	120	15
	132	0.26	2.7	10.3	23.4	66.2	61.8	120	15
	2	0.21	2.6	9.5	23.5	56.6	63.0	150	10
	90	0.27	6.6	9.2	25.6	58.4	64.1	120	15
	137	0.26	13.0	9.8	26.6	55.8	64.9		20
	118	0.27	33.2	9.7	28.0	49.6	69.5	120	30
	5	0.26	33.2	9.9	27.9	51.9	66.9	100	15

示す。

0.2% 耐力, 引張強さ, 伸びおよび絞りとひずみ速度との関係を示したものが図 7, 8, 9 および 10 である。ただし, 横軸のひずみ速度は対数目盛で表わしている。この場合, 引張強さ, 伸びおよび絞りについては, 0.2% 耐力以後の破断に至るまでのひずみ速度をとってその影響を調べたものである。

5. 考 察

5.1 A 試験

図 5 および 6 に示した各試験機関ごとのデータには上下限範囲 (バラツキ) の大きいものと小さいものとがある。これは, データ数が少ないこと (各 3~5 本) と試験機関によつてデータ数が異なることに一因があるのであつて, これだけで一概に試験機関ごとのデータのバラツキの大小を評価することはできない。

厳密には, 表 3 に明記されているように, データごとおよび試験機関ごとによつて少しずつひずみ速度が異なる。

しかし, このひずみ速度の大小とデータの大小とは明確な対応性は認められない。むしろ, データそのもののバラツキや試験機あるいはほかの試験方法の違いによる相違の方が顕著なようである。たとえば, 0.2% 耐力および引張強さに関しては, 図 5 (2) の 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼の場合, ほかの 2 鋼種よりもデータのバラツキが大きいことがわかるが, これは本試験条件下における材料特有のものであらうと思われる。また, 絞りに関しては, 特に, 図 6 (3) の 18-8 ステンレス鋼の場合のバラツキが大きい。この場合, 加熱時間あるいは高温 (700°C) 保持時間の長短と関係があるとは断定し難い。炭素鋼および 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼の場合には明確な局部収縮が生じて cup and cone type の破断を呈しているのに対して, 18-8 ステンレス鋼の場合には一般伸びが比較的大きく, 前二者に認められるような顕著な necking がなく, 試験片のほとんど全断面にわたつて cup 型の破断を呈しているのが特徴である。

5.2 B 試験

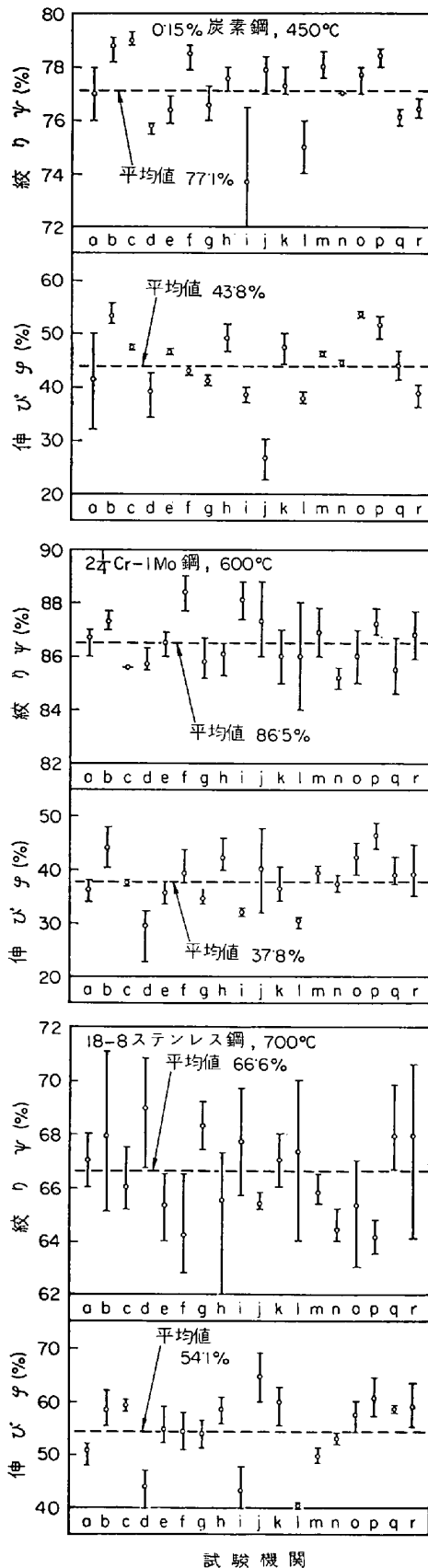


図 6 (3) 伸びおよび絞り (A 試験結果)

(i) 0.2% 耐力

0.2% 耐力におよぼすひずみ速度の影響は図 7 に示す

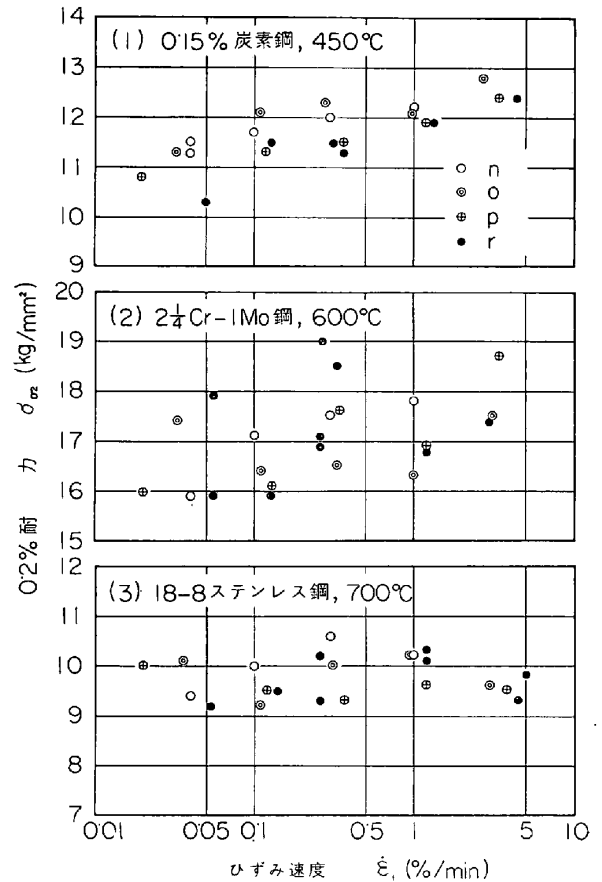


図 7 0.2% 耐力におよぼすひずみ速度の影響

とおりである。

0.15% 炭素鋼の場合、いずれの試験機関 (4 試験機関もほぼ同程度のひずみ速度依存性のあることを示しており、本実験範囲内ではひずみ速度が 10 倍になると約 0.6 kg/mm² の増加があることがわかる。しかし、ひずみ速度が 0.1~0.3%/min の範囲をとると、データのバラツキを考えればひずみ速度依存性は無視してさしつかえない程度のものである。

2½Cr-1Mo 鋼の場合、5.1 の A 試験結果のところであつたように、データのバラツキが比較的大きいため、ひずみ速度の影響を明確に検討できない。しかし、各試験ごとには一応、傾向が存在するようである。すなわち、o 試験機関を除いてほかの 3 試験機関では図において右上りの傾向がある。ただし、r 試験機関のデータでほかのものより大き目にある 3 つの点は除く。これら 3 点だけが特にはなれている原因は不明である。素材の硬さにわずかのバラツキ (H_{RB} で 75.3~77.8) があるが、これとの対応性は特に認められていない。A 試験における本材料のバラツキと硬さの差との間にも一応関係がないと思われる。データの数に限られているので詳細な点まで検討できないが、この場合にはひずみ速度の効果よりもデータのバラツキのほうが大きいようである。

18-8 ステンレス鋼の場合、いずれの試験機関においてもひずみ速度の影響は認められず、全体として 9.7±0.5 kg/mm² の範囲にあることが注目される。

金属の flow stress におよぼすひずみ速度の影響に関する研究は古くから行なわれており、種々の点が明らか

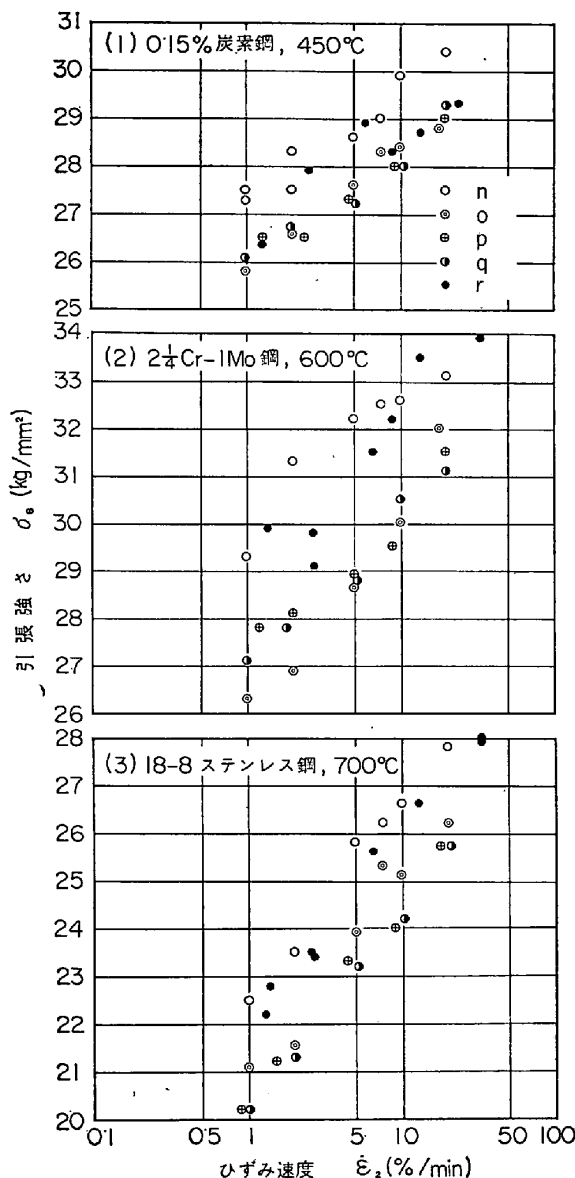


図 8 引張強さにおよぼすひずみ速度の影響

にされている。一般に、ひずみ速度の flow stress に対する効果は、材料、温度、ひずみ速度範囲などによって相違することが知られている。しかし、実験については比較的ひずみ速度の大きいところの変形が多く取り扱われており、ここで問題となるような $0.3\%/min$ 以下の小さなひずみ速度範囲の実験は比較的少ない。しかし、最近、イギリスの鉄鋼協会と鉄鋼研究組合で開催された「鋼の高温特性」に関する Joint Conference において、R. F. JOHNSON (United Steel Co., Ltd.) ら¹⁾は次のような注目すべき講演を行なっている。(i) 炭素鋼 (試験温度: R. T., $300, 500^{\circ}C$)、フェライト系合金鋼 (R. T., $300, 500^{\circ}C$)、一般構造用鋼 (R. T., $300, 500^{\circ}C$) およびオーステナイト系ステンレス鋼 (R. T., $100, 300, 400, 600, 700^{\circ}C$) について、 $0.05 \sim 50\%/min$ のひずみ速度範囲内で実験を行ない、降伏点あるいは 0.2% 耐力におよぼすひずみ速度の影響を調べている。(ii) あらゆる鋼種および温度に対して、ひずみ速度を 10 倍にすると 0.985 kg/mm^2 の降伏点あるいは耐力の増

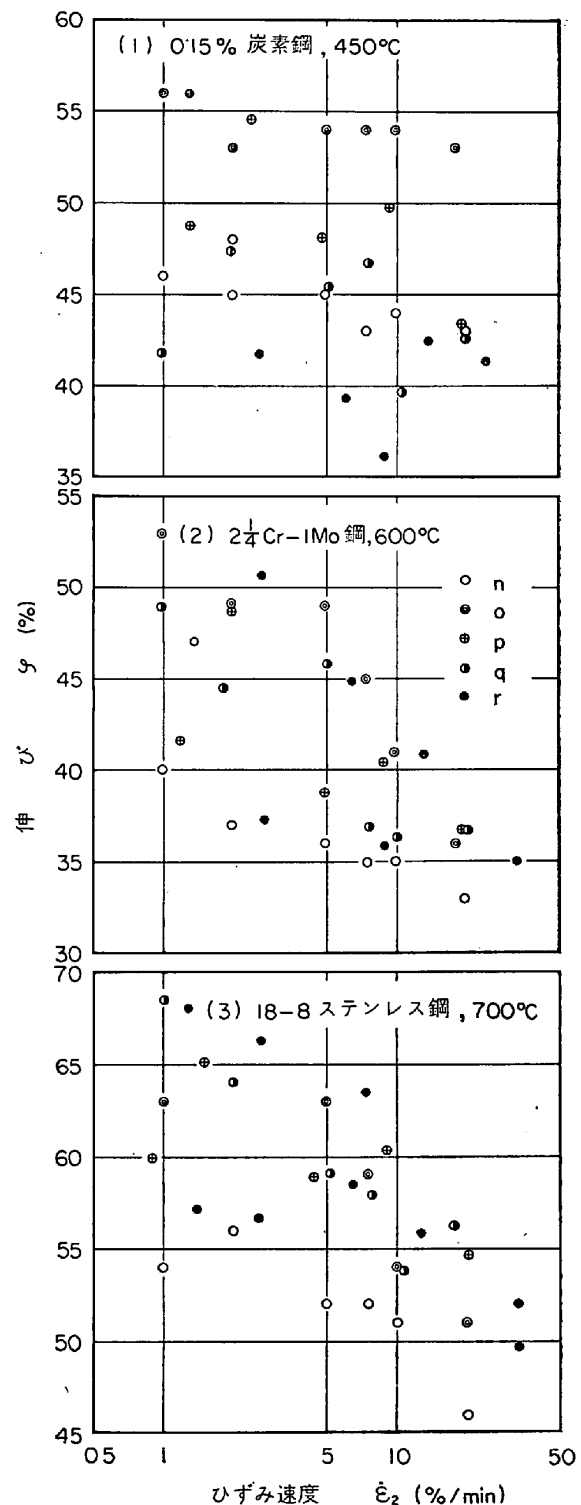


図 9 伸びにおよぼすひずみ速度の影響

加が認められる。(iii) 降伏点あるいは耐力の増減あるひずみ速度における平均値との差とひずみ速度の対数との間には直線関係がある。これは降伏点や耐力の大きさは無関係である。

本共通試験における結果は上記の JOHNSON らの結論と必ずしも一致しない。今後、ほかの試験温度においても同様な検討の行なわれることが望まれる。

図 11 は、ひずみが 1% までの応力とひずみの関係

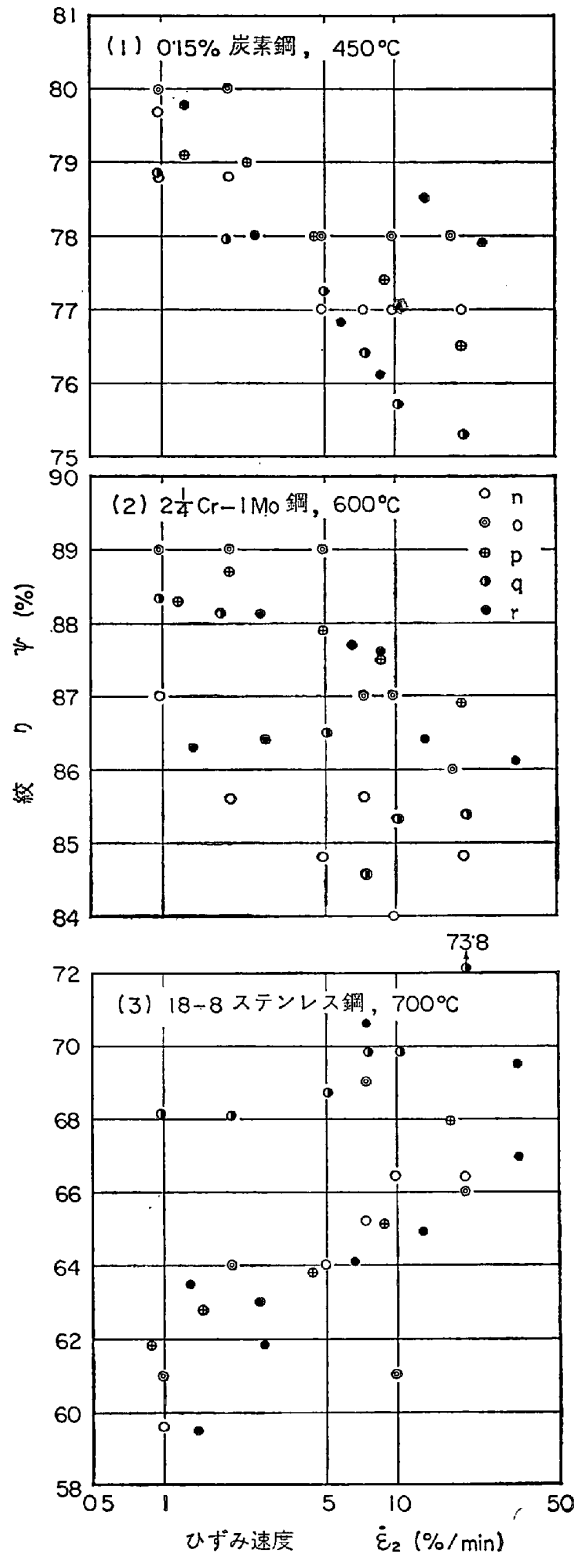


図 10 伸びにおよぼすひずみ速度の影響

を表わした図である。それぞれ、2本の曲線のうち、上方が $\dot{\epsilon}_1 = 1.0\%/min$ 、下方が $\dot{\epsilon}_1 = 0.04\%/min$ のひずみ速度の場合であつて、両者の曲線の間隔は降伏以後ほとんど変わらないことがわかる。したがつて、0.2% 耐力を求める場合には、その近傍のひずみ速度だけではなく、それ以前のひずみ速度も一定に制御する必要があるように思われる。これには、全ひずみ速度と塑性ひず

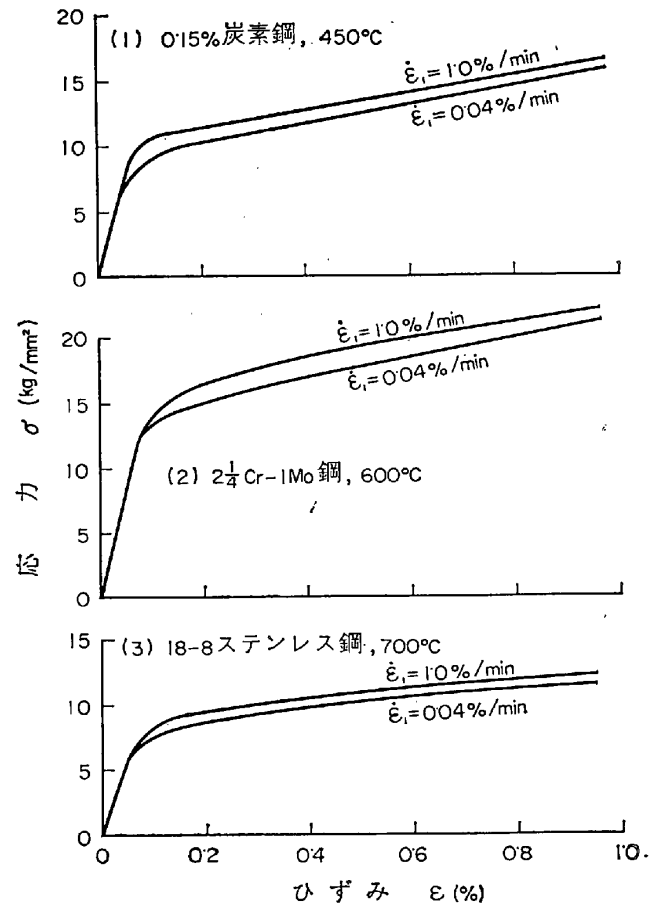


図 11 応力-ひずみ曲線

み速度との関係、ひずみ速度履歴の影響などの問題と関連が深い。

(ii) 引張強さ

引張強さにおよぼすひずみ速度の影響は図8に示すとおりである。試験機関によつて多少応力値に差があるが、試験機の荷重測定に問題があるのかどうかは不明である。

いずれの鋼種についても、ひずみ速度が大きくなれば、引張強さが増加する。ひずみ速度を10倍にすれば、炭素鋼の場合で約 2.2 kg/mm^2 、Cr-Mo 鋼の場合で約 3.4 kg/mm^2 、18-8 ステンレス鋼の場合で約 4.0 kg/mm^2 の引張強さの増加がある。これは前述の0.2% 耐力におよぼす影響より値が大きい。

図12は、各鋼種についてひずみ速度の小さな場合と大きな場合との応力-ひずみ曲線を示している。両ひずみ速度下において、炭素鋼はそれほど相違がないのに対して、Cr-Mo 鋼および18-8 ステンレス鋼は曲線の形にかなりの相違がみられ、引張強さにおいて最大の応力差が生じている。

図13は、引張強さにおよぼす0.2% 耐力までのひずみ速度の影響を調べたものである。すなわち、2-4の試験条件のところで述べたように、0.2% 耐力以後のひずみ速度は略々 $7.5\%/min$ 一定にして、それ以前のひずみ速度を図の横軸に示すように種々の値にとつた場合、引張強さに影響をおよぼすかどうかという点を検討するものである。この図より、0.2% 耐力までのひず

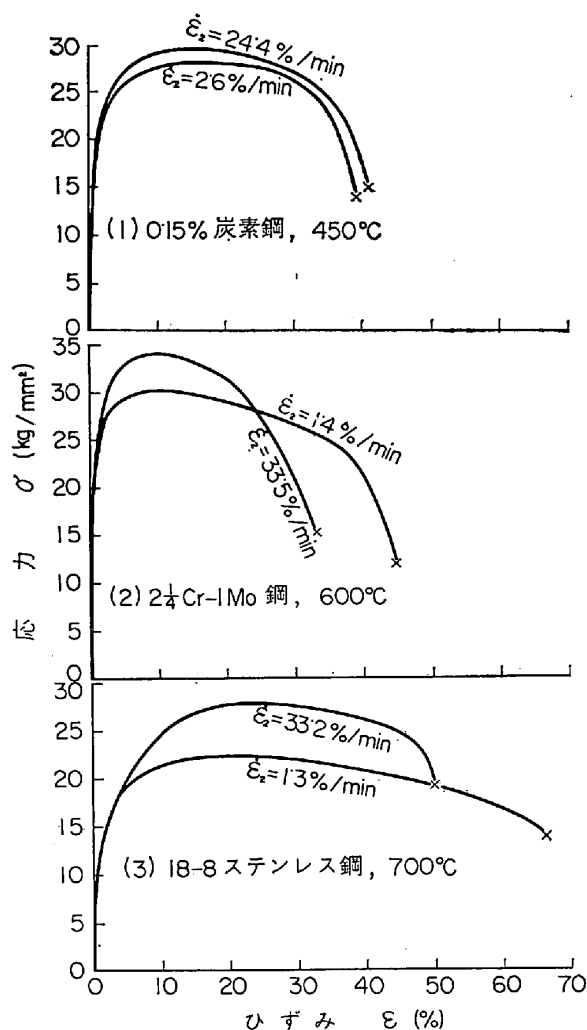


図 12 (3) 応力-ひずみ曲線

み速度の違いは引張強さにほとんど影響しないといえる。ここでは、むしろひずみ速度の変換を行なうために試験を中断する間のひずみ回復や組織回復が問題となろう。速度変換のための試験中断時間は特に報告されていないので、この点については検討できなかった。

(iii) 伸び

図 9 に示すように、データのバラツキが大きく、ひずみ速度の影響は明確に表われていない。しかし、2 1/4 Cr-1 Mo 鋼と 18-8 ステンレス鋼については、ひずみ速度が大きくなるほど伸びの低下することが認められる。そして、ひずみ速度のおそい場合にデータのバラツキが大きいことが注目される。

(iv) 絞り

図 10 に示すとおり、炭素鋼および Cr-Mo 鋼の場合には、ひずみ速度が大きいくほど絞りが小さくなっているが、18-8 ステンレス鋼の場合には、逆にひずみ速度の大きいものほど絞りも大きい。すなわち、18-8 ステンレス鋼においては、ゆっくり引張ると一般伸びは増加するが、真破断伸びに関係する絞りはかえって減少することがわかる。しかし、これらのことは本試験におけるひずみ速度範囲内および温度に限られている。

(v) 試験片寸法

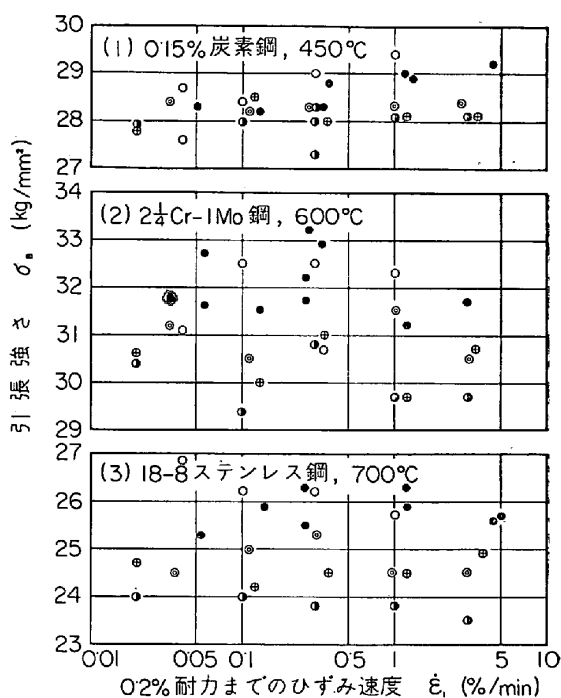


図 13 引張強さにおよぼす 0.2% 耐力までのひずみ速度の影響

本共通試験における高温引張試験片の形は図 1 に示すようなものであつた。ただ、o 試験機関のみ、外径 8 mm、標点距離 50 mm の試験片を用いている。しかし、A 試験ならびに B 試験の結果をみると、この影響が特に現われているとは思われず、データに有意差はない。

(vi) 試験温度

試験温度に関する報告事項が試験機関によつてまちまちであるために、まとめて報告することが困難であるが、試験中の温度分布および温度変動を詳細に記録し、報告している 2, 3 の機関と、温度に関しては全く報告のない数機関をのぞいては、ほとんどが試験開始時の温度と試験片破断直後の温度とを明記している。これら報告によると、温度の測定およびその調節に関してはほとんど問題がなさそうである（ただし、温度調節装置や測定器機の精度および正確さについては不明）。ただ、試験片が伸びて熱電対が試験片表面からはずれることが多いため、試験終了後の温度を記録することは適当でないという意見があつた。この点については、熱電対の取り付け方や試験片温度とその表面近傍の雰囲気温度との関係などが問題となろう。

(vii) その他の意見あるいは問題点

本共通試験に関して提出された意見や指摘された問題点のうちの主なるものをあげると次のようである。

(1) 耐力の測定には引張速度を時間当たりの応力増加 ($\text{kg/mm}^2/\text{sec}$) で規定する試験方法のほうが望ましい (a 機関)。

(2) 正確なひずみ速度下で試験を行なうためには、高温引張試験用の専用機が必要である (f, l 機関ほか)。

(3) 耐力を求める際に必要な弾性係数 E の求め方および直線の引き方 (f, h 機関)。

(4) 伸び計に差動トランスを用いる場合、その温度の影響は問題にならないか。また、抵抗線ひずみ計を用いているロードセルを有する試験機(電気式)では、ロードセルの温度による影響はないか(b, n 機関ほか)。

(5) 最大荷重点をすぎる直後に試験片の発熱による温度上昇が認められる。これは、高速で引張った場合ほど大きく、 $\dot{\epsilon}_2=30\%/min$ ではほぼ 5°C の温度上昇が認められた(c, g, r 機関)。

6. 結 言

以上、炭素鋼 (450°C)、 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼 (600°C) および 18-8 ステンレス鋼 (700°C) について、JIS に基づく高温引張試験(A試験)とひずみ速度を数段階にとつてその影響を検討する高温引張試験(B試験)に関する共通試験の結果を報告した。本試験によつて、一般に、高温における機械的性質はひずみ速度の影響を受けることが確認された。したがつて、ひずみ速度に関する規定をしないで試験をしたり、データの比較あるいは収集を行なつたりすることは、全く無意味な場合のあることを注意すべきであろう。しかし、本共通試験におけるB試験の結果から、A試験の問題点ならびにJISの妥当性を結論するには、いまだ少しデータの不足もあつて困難である。今後、鉄鋼協会の本分科会において、さらにこの問題を追求するための活動が計画されているが、この機会にこの方面の問題に関心を持たれる方々の広範囲のご協力を期待する次第である。最後に、このたび、本共通試験に参加された下記の関係機関に対して謝意を表する。

本共通試験参加機関名 (順不同)

日本鋼管(株)技術研究所
川崎製鉄(株)技術研究所
川崎重工業(株)技術研究所
山陽特殊製鋼(株)技術部
(株)日本製鋼所室蘭製作所研究所
特殊製鋼(株)技術研究所
(株)日立製作所日立研究所
日新製鋼(株)周南製鋼所研究部
東京芝浦電気(株)中央研究所
富士製鉄(株)中央研究所
岡野バルブ製造(株)
三菱重工業(株)神戸研究所
日本冶金工業(株)川崎製造所研究部
住友金属工業(株)中央技術研究所
(株)神戸製鋼所中央研究所
八幡製鉄(株)東京研究所
東京大学宇宙航空研究所
京都大学工学部機械工学第2学教室

文 献

- 1) R. F. JOHNSON & J. D. MURRAY: "The Effect of Rate of Straining on the 0.2% Proof Stress and Low Yield Stress of Steel", High-Temperature Properties of Steels, Joint Conf. held by British Iron and Steel Research Association and The Iron and Steel Inst., (1966-4), Paper 40.