

日本学術振興会記事

高温における低炭素鋼のクリープ破断試験結果の パラッキに関する共通試験*

— 第129委員会第3分科会報告 —

平 修 二**

1. 結 言

(本共通試験の目的とその経過の概要)

日本学術振興会第129委員会第3分科会(「高温強度」分科会)においては、いままでに本分科会活動の一環としてクリープ破断試験結果のパラッキに関する共通試験を行ない、前後3回にわたる報告を行なってきた。すなわち、第1回(昭和37年2月)はCr-Mo-V鋼製蒸気タービン軸から抽出した試験片に関する11カ所の試験機関における同一試験温度および引張応力の下での共通試験、第2回(昭和38年7月)は0.15%C炭素鋼に関する15カ所の試験機関における同一試験温度および応力の下での共通試験、第3回(昭和41年2月)は0.17%C炭素鋼に関する23カ所の機関における同一試験温度および数段階の引張応力の下での共通試験の各結果をとりまとめた。

よく知られているように、金属材料の高温クリープおよび破断性質は組織敏感性であつて、材料の組成ならびにクリープ中の組織変化はもとより、試験温度および負荷応力に大きく依存する。さらに、クリープ破断寿命は破壊が一般に確率的性質を有することから本質的にパラッキのあるものと考えられる。したがつて、クリープおよびクリープ破断試験の実施とクリープ・データの収集およびその解釈については、データのバラッキに関する考慮が特に必要である。

クリープおよびクリープ破断試験の実施については、クリープ試験法規格によつて試験片、試験装置、試験方法および記録などについてその統一が計られている。しかし、今日わが国におけるクリープ試験の需要の飛躍的増大とその多様化によつて、現行のJIS規格は到底満足なものとはいえない現状にあり、したがつて、クリープ試験法に関する包括的な検討が必要になつてきている。なお、この線に沿うJIS規格の改訂審議が日本鉄鋼協会クリープ委員会において行なわれている。また、今日、国産耐熱金属材料のクリープ強度の正当な評価が要請されてきているが、それらのデータの収集と解釈を行なう場合、各試験機関の間のデータのバラッキに対する検討がまず必要である。さらに、クリープ・データのバラッキそのものに対する検討は、クリープおよびクリープ破壊が一種の確率過程であるので、クリープおよびクリープ破壊の機構を調べる上での有効な研究の側面であると

考えられる。以上の諸点から考えて、わが国におけるできる限り広範囲の試験機関を含めたこの種の共通試験の実施は、実際問題として今日要望されている課題であるのみならず、学問的にもきわめて興味ある問題である。

本稿は、前2回の共通試験の成果の上に立つて行なわれた第3回共通試験結果について述べたものである。すなわち、第1回の共通試験においては、実物蒸気タービン軸から採取した試片について行なわれたクリープ破断試験の結果のパラッキが、試片の任意抽出法の採用にかかわらず、構造物特性(熱処理および加工に関する実物構造物の位置による強度特性の相異や異方性など)や熱電対、温度測定器の精度および検定の方法に依存するものであることを指摘した。次いで、第2回の共通試験では素材の属性均一化のためまえから低炭素鋼棒より抽出した試験片についてクリープ試験を行ない、各クリープ性質間のバラッキ相関性、加速クリープ段階におけるバラッキ、破断絞りおよび試片直径の測定方法にもとづく誤差などの問題が指摘された。今回の共通試験においては、前回までの問題点を含めて第2回共通試験と同様、素材の属性均一化をはかるため、低炭素鋼棒から抽出した試片についてクリープ試験を実施した。とくに、第2回共通試験で指摘された各クリープ性質間の相関性および相互のパラッキを包括的につかむことを意図して、試験応力の選択にある範囲の任意性をもたせ、引張応力基準でもつてクリープ破断性質のパラッキを評価することに重点がおかれた。また、今回の試験においては、共通試験記録事項に応力-破断時間曲線の内外挿法、荷重負荷方法および瞬間伸び(ひずみ)の測定法、処女試片および破断試片の直径測定法(器具)とその測定個所の各項目を加えた。

2. 共通試験の材料および試験片

2.1 製造所

八幡製鉄株式会社 八幡製鉄所

2.2 溶解

炉の種類: 平炉, 溶解量: 73.25 t, インゴットの大小

* 昭和41年4月11日受付

** 日本学術振興会「金属材料の強度と疲労」第129委員会第3分科会「高温強度」主査 京都大学工学部 工博

長さ: 4.4 t, 脱酸条件: Al 110 g/t.

2.3 化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.17	0.15	0.40	0.019	0.015	0.11	0.03	0.05

2.4 試験素材採取履歴

溶解 → 造塊 → 分塊 → 熱延 →
60 t 平炉 4.4 t 96 mm φ × 1.6 m 23 mm φ × 38 m
切断 → 熱処理
22 mm φ × 200 m 920°C × 焼なまし

2.5 熱処理

素材を 200 mm に切断し, ランダムに 56 本抽出して束ねて 1 ロットとし 1 チャージの熱処理を行ない, 合計 14 チャージ (784 本) の熱処理を行なった.

熱処理炉: 30 kW エレマ電気炉

熱処理条件: 920°C × 1hr → 600°C A.C.
75°C/hr

2.6 常温機械的性質

(a) 硬サ: 熱処理後, 試験材表面を 1 mm グラインダー研磨を行ない, さらにペーパー 320 番で研磨後, 試験素材 784 本についてロックウェル (B) で平行部の中央とそれより左右にそれぞれ 20 mm の点, 計 3 点について硬度測定を行なった. 素材は, その属性均一性を確保するために HR_B 55.5~57.5 の範囲に入るものを抽出し, その内 180 本を今回の共通試験素材とした. なお, 180 本の平均硬さは HR_B 56.7, その標準偏差は 0.223 であつた.

(b) 引張強さ: 784 本の硬度測定の結果から, 平均硬度 HR_B 55.5~57.5 の範囲にあるもの (B) とこれより高いもの (C) および低いもの (A) について, それぞれ任意に 3 本ずつ選んで引張試験を行ない, 表 1 の結果を得た.

(c) 衝撃値: 試験片 JIS 3 号による結果を表 2 に示す.

(d) 粒度: 素材のフェライト粒度は JIS No. 5~6 である.

表 1 試験片素材の常温静機械的性質

試験片 素材符号	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	硬サ (HR _B)
A-1	23.2	41.7	38.4	63.7	54.8
A-2	24.0	43.4	37.8	59.0	54.7
A-3	23.8	43.3	37.4	58.7	55.0
B-1	23.2	41.8	39.2	60.8	57.1
B-2	24.5	43.5	37.2	60.1	57.4
B-3	24.3	43.3	37.8	58.3	57.2
C-1	24.3	43.4	38.0	58.8	57.7
C-2	24.8	42.1	39.2	62.1	58.4
C-3	25.3	43.0	34.4	61.4	58.9

(八幡製鉄所において試験)

表 2 試験片素材の常温衝撃値

HR _B	56.6	55.8	56.1	56.3
kg-m/cm ²	12.6	11.3	11.0	10.9

(八幡製鉄所において試験)

2.7 クリープ破断試験片の抽出方法

2.4 で述べた直径 22 mm, 長さ 200 mm の丸棒試験片素材 180 本にあらかじめ素材ごとに番号を附し, 乱数表による任意抽出を行ない, 各試験機関に 5 本あるいはそれ以上を配布した.

2.8 クリープ破断試験片寸法および加工

試験片寸法は, 各試験機関に所属する試験装置の特殊性を考慮して, 標点部分直径 6 mm あるいは 10 mm, 標点距離 50 mm と規定し, 他の部分は素材寸法内の任意寸法とした. すなわち, ねじ部分および伸び計引出棒の取付部寸法などはすべて各試験機関の特殊性に従うものとし, 試験片加工はすべて各試験機関で行なうものとした. ただし, 試験片の機械加工に際しては標点部分の直径寸法精度を 0.05 mm より良好なるものとし, かつその表面に切削疵を残さない程度に仕上げることを規定した. また, 伸び計を取付けるときの実標点距離の誤差は ± 2% 以内 (± 1 mm 以内) と規定した.

3. クリープ破断試験条件

3.1 試験機

クリープ破断試験機は原則としてレバー型式のものとし, また 1 台の同一試験機で試験を行なうことを原則とした.

3.2 試験温度

温度は 450°C とし, JIS Z 2272 に従うことを規定した.

3.3 初期引張応力

クリープ破断時間が約 5000hr までのものを対象として, 各試験機関ごとに任意の破断時間を設定した. なお各破断時間に対する試験応力は八幡製鉄 (株) 八幡製鉄所技術研究所において得られた応力-破断時間曲線にもとづき決定した. これを本材料の標準クリープ破断強度表として表 3 に示した.

3.4 熱電対および温度測定装置

熱電対および温度測定装置は試験前に必ず検定し, また, 熱電対の取付けはアスベストを用いて熱輻射をさけるように考慮した. なお, 熱電対および温度測定装置は JIS Z 2272 に従うことを規定した.

4. 共通試験記録事項

共通試験記録事項は下記の事項とした.

- (i) 試験結果記録表
- (ii) クリープ曲線
- (iii) 応力-破断時間曲線
- (iv) 応力-破断時間曲線の内外挿法
- (v) 荷重負荷および瞬間伸び(ひずみ)測定方法
- (vi) 処女試験片および破断試験片の直径測定法 (器具) および測定箇所

表 4 は試験結果の記録用紙を示したものである. かか

表 3 試験材料の標準クリープ破断強度

破断時間 (hr)	100	300	500	1000	3000	5000
応力 (kg/mm ²)	22.9	20.8	19.9	18.8	17.0	16.2

表4 試験結果記録表

第3回共通クリープ破断試験結果記録表

鋼種	0.17%C 炭素鋼	溶解	炉型式 平炉	インゴットの大きさ 4.4トン	脱酸条件 Al 110g/トン	熱処理	920°C × 1hr 75°C/hr →600°C A.C.	試温 試験度	450°C		
試験機関名											
試験機	レパー比	容量	トン		製造所名						
温度測定器	型式				精度						
熱電対	種類				検定方法						
温度調節器	型式				精度						
伸び計	型式				精度						
試験片形状											
温度管理 記録		試片番号	最高温度(°C)	最低温度(°C)	試片番号	最高温度(°C)	最低温度(°C)				
試験片 番号	負荷応力 (kg/mm ²)	瞬間伸び (%)	%指定負荷時間 (hr)				最小クリープ 速度 (%/hr)	最少クリープ 速度測定時間 (hr)	クリープ破断		
			1%	2%	5%	10%			破断時間 (hr)	伸 び (%)	紋 り (%)
破断時間 (hr)		100	1,000	3,000	5,000	10,000	30,000				
破断応力(内外挿値) (kg/mm ²)											
備考											

る記録表の採用によって、資料表現の統一をはかった。温度管理記録については、各試験片について試験中に採用された温度のうちの最高と最低の値を記録するものとし、また、記録表中の%指定負荷時間のひずみは全ひずみ(%)をとるものとした。瞬間伸びの測定方法については各試験機関独自の方法によるものとし、その測定方法および荷重負荷方法を記入するものとした。さらに、クリープ破断応力の内外挿については応力-破断時間曲線によるものとし、その曲線の引き方としては、各試験

機関において従来採用されている方法に従うものとし、その方法を明記するものとした。

5. クリープ破断試験結果とその考察

クリープ破断試験結果一覧表を表5に示す。なお、表5では試験機関名をアルファベットで表示することとし、また、表中の()のあるものは試験中支障のあったことを指す。表5の結果を以下に示すように、応力-破断時間、応力-最小クリープ速度、最小クリープ速度-破断

表 5 (其の 1) 共通クリープ破断試験結果一覧表

機関名 d (mm)	試片 番号	負 荷 力 (kg/ mm ²)	時 間 伸 び (%)	%指定負荷時間 (hr)				最小ク リ ー プ 速 度 (%/hr)	最 小 ク リ ー プ 速 度 測 定 時 間 (hr)	ク リ ー プ 破 断			破断時間 (hr) における破断応力内外挿値				
				1 %	2 %	5 %	10 %			破断時 間(hr)	伸 び (%)	絞 り (%)	100	1000	3000	5000	10000
A 10	50	23.5	2.1850	—	—	4.5	31.5	0.195	20~40	73.3	42.0	59.0	23.0	19.0	17.0	16.0	14.8
	2	21.5	2.1570	—	—	12.0	90.0	0.062	50~100	215.7	34.0	58.0	21.1	17.8	15.8	14.8	13.5
	88	20.8	1.5760	—	—	70.0	260.0	0.0235	100~200	423.5	36.0	55.0					
	156	19.9	1.3970	—	1.5	130.0	410.0	0.0140	100~250	584.2	38.0	58.0					
	73	19.0	1.1960	—	15	350.0	720.0	0.0078	200~400	991.0	41.0	60.0	下段の値は No. 5, 79, 25, より内外挿				
	5	18.8	1.2930	—	—	93.0	340.0	0.0173	100~200	527.3	37.0	57.0					
	79	17.0	0.9800	—	20	570.0	1090	0.0045	300~500	1391.0	31.0	59.0					
	25	16.5	0.8100	—	80	940.0	1530	0.0032	200~300	1941.5	40.0	61.0					
B 10	135	23.0	1.83	0	<0.5	6.6	48.5	0.099	25~55	123.7	38.0	55.8	22.5	17.8	15.9	15.0	
	64	21.0	1.67	0	<0.5	10.5	66.0	0.086	20~80	177.9	41.8	62.2					
	20	20.0	1.52	0	0.5	31.5	159.5	0.036	70~140	320.6	37.3	60.5					
	45	19.0	1.26	0	0.8	72.5	325.0	0.018	110~280	560.1	37.8	57.1					
	109	17.0	0.85	<0.5	20.0	580.0	1217	0.0041	140~420	1614.5	40.2	55.9					
	C 10	1	28.0	—	—	—	—	—	—	—	1.0	36.1	68.3	22.0	18.3	15.2	13.7
136		24.5	2.74	—	—	0.7	5.5	1.132	4.0	15.1	34.8	65.0					
59		23.5	2.09	—	—	1.4	15.2	0.350	4.0	30.2	33.2	58.4					
145		21.5	0.79	—	3.0	64.0	186.0	0.0285	19.0	268.2	40.3	60.1					
150		19.0	1.74	—	—	48.0	245.0	0.0235	138.0	445.3	47.1	66.4					
61		22.9	2.02	—	—	10.5	57.5	0.0953	15.0	109.8	34.6	52.4					
62		20.8	1.97	—	—	9.3	54.0	0.0882	21.0	120.8	39.9	54.9					
67		19.9	0.98	—	10.0	184.0	396.0	0.0133	65.0	562.4	30.6	50.3					
66		18.8	1.00	—	20.0	370.0	730.0	0.00696	160.0	956.0	37.7	59.4					
65		17.0	0.714	3.0	43.0	500.0	895.0	0.00594	225.0	1158.0	36.4	57.4					
68		16.2	0.713	4.0	145	1297	1895	0.00199	400.0	2275.8	31.3	62.4					
D 10	12	22.9	1.914	—	—	9	44	0.1352	24	99.0	38.9	48.8	22.8	18.3	16.6	15.8	
	30	20.8	1.759	—	0.05	14	46	0.1240	48	124.2	44.7	54.3	21.2	17.6	16.0	15.2	
	55	19.9	1.476	—	0.4	24	105	0.0509	48	215.4	39.4	61.6					
	100	18.8	1.200	—	4.0	115	315	0.0206	178	464.9	40.0	58.5					
	146	17.0	0.759	0.75	104	1325	1855	0.00138	471	2215.0	32.0	60.0					
E 10	178	22.9	2.34	—	—	7.2	42.0	0.1296	50	96	42.3	56.1	22.3	18.7	17.1	16.5	15.6
	14	20.8	1.87	—	0.07	10.0	56.5	0.0847	72	149	43.5	63.1					
	151	19.9	1.35	—	7.0	200	502	0.0125	328	713	33.0	54.8					
	18	18.8	1.22	—	15.0	410	810	0.00578	496	1065	41.6	61.1					
	27	17.0	0.89	0.33	140	1560	2052	0.00143	900	2406	33.2	56.4					
F 10	103	22.9	2.55	—	—	1.1	—	—	—	24.0	37.8	65.6	21.1	17.8	15.8	15.0	
	174	20.8	1.48	—	0.6	38.0	156.2	0.0388	48~96	277.0	35.4	56.9					
	53	18.8	1.36	—	1.2	63.0	240	0.0267	96~168	424.7	44.2	59.8					
	43	17.0	0.95	0.1	15.2	408	846	0.0062	193~360	1140.0	38.2	58.2					
	172	16.2	0.64	4.4	360	2072	2638	0.00080	528~768	3025.0	37.1	60.7					
	6	15.3	0.54	27.0	1642	3458	4135	0.00038	816~1584								
	68	14.0	0.50	51.0	2351	4577		0.00025	1248~1656								
G 10	148	23.0	2.156	—	—	3.9	26	0.490	1~4	60.1	39.0	59.4	22.5	18.0	16.1	15.3	14.2
	91	21.5	1.838	—	0.2	18.5	87	0.0923	8~22	158.3	37.6	62.2					
	113	20.0	1.389	—	1.0	83	240	0.0216	70~104	375.8	37.8	60.0	No. 78 は停電のため910hr より12日 間負荷したまま休止				
	60	19.0	1.217	—	4.1	231	580	0.0072	118~199	790.2	36.0	58.0					
	162	17.0	1.127	—	3.8	134	478	0.0096	222~294	737.5	32.0	60.9					
	78	17.0	0.890	<1	55	956	1524	0.0025	223~559	1854.3	33.8	47.0					
H 10	15	22.9	2.07	0	0	6.0	45	0.1080	40	125.9	33.0	56.2	22.5	17.9	16.0	15.0	14.0
	24	19.9	1.29	0	1.9	98.0	360	0.0166	200	546.2	40.0	59.3					
	155	20.8	1.86	0	0	8.0	48	0.1120	40	116.5	35.0	73.8					
	121	18.8	1.51	0	0	92.0	345	0.0176	210	546.0	36.0	61.0					
	42	17.0	0.82	0.1	45.0	870.0	1305	0.0036	500	1588.1	28.0	54.8					
I 10	8	22.9	1.8	—	—	11.5	35.5	0.1529	17	63.3	—	60.0	21.5	18.4	17.2	16.5	16.0
	28	20.8	(0.08)	(0.6)	(4)	(14.5)	(61)	0.0869	23	97.5	30.8	64.0					
	40	19.9	1.4	—	0.15	34	177	0.0345	165	374.3	38.8	67.0					
	137	18.8	0.9	0.9	16	496	1050	0.00404	470	1327.3	32.2	65.0					
	171	17.0	0.58	0.65	75	1065	1715	0.00250	600	2042.5	31.2	61.0					
J 10	179	22.9	2.2	—	—	0.8	7.5	0.52	8	27.5	41.2	66	22.0	18.5	16.2	15	
	90	20.8	1.4	—	0.55	41	178	0.035	90	282.8	45.0	61					
	115	19.9	1.08	—	1.9	125	390	0.015	140	584.9	37.0	58					
	46	18.8	1.11	—	5.2	243	580	0.009	150	856.6	33.0	58					
	4	17.0	0.71	1	110	1160	1730	0.0027	440	2139.0	42.3	61					
K 10	169	25.5	2.73	—	—	1.0	8.5	0.524	3	16.5	26.2	59.0	真空クリープ試験 (5×10 ⁻⁴ ~5×10 ⁻⁵ mmHg)				
	3	24.0	2.44	—	—	3.7	28.5	0.179	17	57.0	29.9	60.3					
	61	22.0	1.73	—	0.16	38.0	168.0	0.0199	25	231.0	24.0	55.8					
	6	21.0	1.49	—	1.0	94.0	309	0.0186	95	403.7	26.8	53.6					
	166	19.0	1.47	—	1.0	79.0	287	0.0215	109	413.3	27.5	59.1					
	66	18.0	1.15	—	5.0	245	550	0.0104	235	705.6	26.0	60.3					
	76	20.0	1.42	—	0.03	136	379	0.015	138	476.7	22.0	39.3					
	58	17.0	0.80	0.05	250	1620	2400	0.00088	365	2485.3	25.6	57.7					
L 10	33	28.0	—	—	—	—	—	—	—	2.6	36.4	64.2	22.6	18.7	17.1	16.5	
	51	19.0	1.03	0.017	16	282	600	0.009	200~400	804.3	41.6	57.8	No. 75は温調故障のため試験中止				
	54	23.0	2.25	0	0	14	52	0.0996	15~20	84.8	41.2	56.8					
	75	17.0	0.6	10	255	—	—	0.00138	300~700	—	—	—					
	81	20.0	1.41	0	2	95	289	0.0175	60~110	440.7	33.2	55.9					
	168	21.0	1.85	0	0.3	19	80	0.233	20~30	154.7	32.4	58.1					

表 5 (その 2)

M 9	9	23.0	—	—	—	—	—	—	—	17.3	21.0	61.9	21.5	18.3	16.1	15.2	
	86	20.8	—	—	—	—	—	—	—	287.1	19.0	55.4					
	126	19.9	—	—	—	—	—	—	—	525.5	23.0	52.5					
	173	18.8	—	—	—	—	—	—	—	588.4	18.0	51.6					
	108	17.0	—	—	—	—	—	—	—	2370.2	25.0	63.2					
N 10	93	22.9	—	—	—	—	—	0.7575	20~30	72.6	28.4	57.8	22.3	18.3	16.7		
	62	20.8	1.23	—	2.0	29	135	0.0420	40~80	212.3	26.8	56.5					
	161	19.9	1.12	—	3.5	115	290	0.0210	110~200	388.3	29.6	57.8					
	129	18.8	1.05	—	18.0	250	571	0.0092	210~270	731.8	29.4	74.0					
O 6	39	22.9	2.35	—	—	8	18	0.2933	15~30	51.2	34.7	62.8	22.7	18.7	16.2	15.2	
	48	20.8	1.28	—	—	5	133	0.0067	150~240	431.3	26.7	51.0	No. 94 は試験中停電のためその間除荷				
	52	19.9	1.27	—	—	12	270	0.0083	140~370	608.8	24.3	56.8					
	94	18.8	1.20	—	—	10	328	0.0074	190~420	596.1	31.3	63.4					
	170	17.0	0.15	340	1175	1560	1670	0.0012	150~1200	1671.4	13.3	53.3					
P 6	128	23.0	1.41	—	0.2	8.4	39.9	0.156	20~60	82.8	31.5	56.4					
	132	20.0	1.58	—	0.1	14.6	71.3	0.076	50~80	153.7	28.8	63.4					
	164	18.5	1.17	—	2.9	106.5	299.2	0.021	100~180	459.8	27.3	57.9					
	35	17.0	0.69	2.9	207.5	1503	1999	0.002	200~850	2223.9	24.2	61.7					
Q 6	101	22.9	2.468	—	—	0.6	9.3	0.60	5~15	25.0	43.0	75.3	21.1	18.7	16.7	15.0	
	69	19.9	1.229	—	—	50.0	204	0.0320	50~200	264.5	23.0	64.2					
	49	18.8	0.610	—	—	60.0	965	0.0033	100~500	1159.2	33.6	61.9					
	41	16.5	0.818	—	—	100.0	1200	0.0025	100~500	1903.5	18.0	55.8					
R 6	31	22.9	1.397	0	0.3	12.5	50.3	0.1184	27~40	83.3	32.0	57.5	22.7	17.6	15.6	14.7	13.6
			1.565														
	47	20.8	1.088	0	2.6	70.0	200.5	0.0344	45~125	301.7	32.0	57.1	瞬間伸び 上段値: 負荷時の伸び 下段値: 負荷 1 min 後の伸び				
			1.225														
	65	19.9	0.849	<0.1	12.0	178.0	380.5	0.0159	70~220	475.7	26.0	56.7					
			0.953														
S 6	70	22.9	—	0.1	—	0.5	6	0.76	11	20	21.0	81.8	21.6	19.6			
	70	22.9	3.05	0.1	0.3	1.8	7	1.0	10	16	19.3	64.0					
	71	20.8	2.50	3	7	50	135	0.05	90	240	23.1	46.9	No. 175 は試験中停電				
	67	19.9	2.40	8	20	44	380	0.01	420	881	31.6	47.0					
	175	18.8	1.6	16	40	150	850	0.003	400	935	28.0	51.6					
T 6	119	26.0	—	0.12	0.19	1.60	5.2	1.08	2.5	7.0	23.1	61.7	23.7	19.5	17.2	16.2	
	26	23.0	—	2.00	12.0	98.0	205.0	0.0231	110	248.8	19.5	50.6					
	147	20.0	—	12.5	74.0	500.0	780.0	0.00417	320	823.7	19.4	51.4					
	159	24.0	—	0.114	0.16	1.00	3.2	2.3	1.5	4.3	27.1	68.5					
	163	17.0	—														
U 6	104	23.0	—	12	40	150	200	—	—	230.0	23.8	52.2	24.6	19.5	16.6	15.4	13.8
	38	21.5	—	40	125	250	—	0.010	50~100	286.5	12.1	55.6	25.4	19.2	15.5	14.6	12.7
	98	20.0	—	200	1000	1380	1515	0.000975	100~800	1568.5	24.1	52.9	下段の値は No.104,118,180 による内外挿値				
	118	18.5	—	30	450	850	1080	0.00185	200~650	1259.3	39.3	60.8					
	180	17.0	—	30	350	2250	2680	0.000627	500~1350	2746.8	17.5	54.4					
V 7	165	22.9	2.37	—	—	4.75	26.7	0.215	15~35	59	21.7	58.7	21.9	18.3	16.9	16.2	15.3
	72	20.8	2.20	—	—	4.25	33.5	0.164	15~40	67	22.8	63.5	21.2	18.2	17.4	16.9	16.2
	57	18.8	0.767	—	—	26.0	350.0	0.0085	80~340	653	14.5	57.9	上段の値は No.72 を除く内外挿値				
W 6	44	22.9	1.24	—	—	11	50	0.1060	20~24	99.1	28.4	55.6	22.9	19.0	17.1	16.2	15.0
	107	19.9	1.07	—	—	2.5	155	0.0110	244~268	693.1	28.3	54.4	No.44,107,102による内外挿値				
	112	18.8	1.05	—	—	0.5	53	0.0249	119~143	399.1	31.4	67.4					
	102	17.0	0.92	—	—	16	1270	0.00112	618~642	2522.9	31.5	62.9					
	177	20.8	1.14	—	—	8	51	0.1300	25~30	106.3	29.1	59.4					

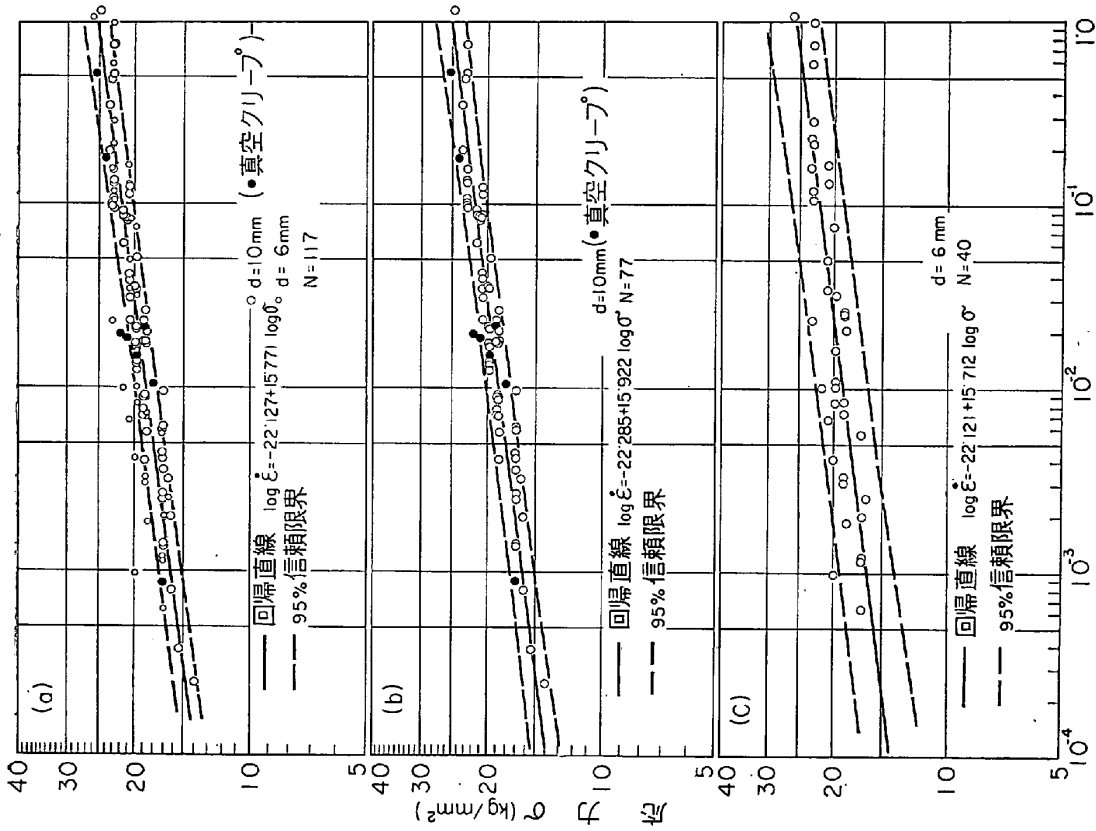
断時間、応力—瞬間伸び(ひずみ)、応力—破断伸び(絞り)、破断伸び(絞り)—破断時間、およびクリープ曲線の各関係について分析考察し、試験片直径の測定方法、荷重負荷方法および瞬間伸び測定方法ならびに応力—破断時間曲線における線の引き方(内外挿法)についても考察する。

5.1 応力—破断時間

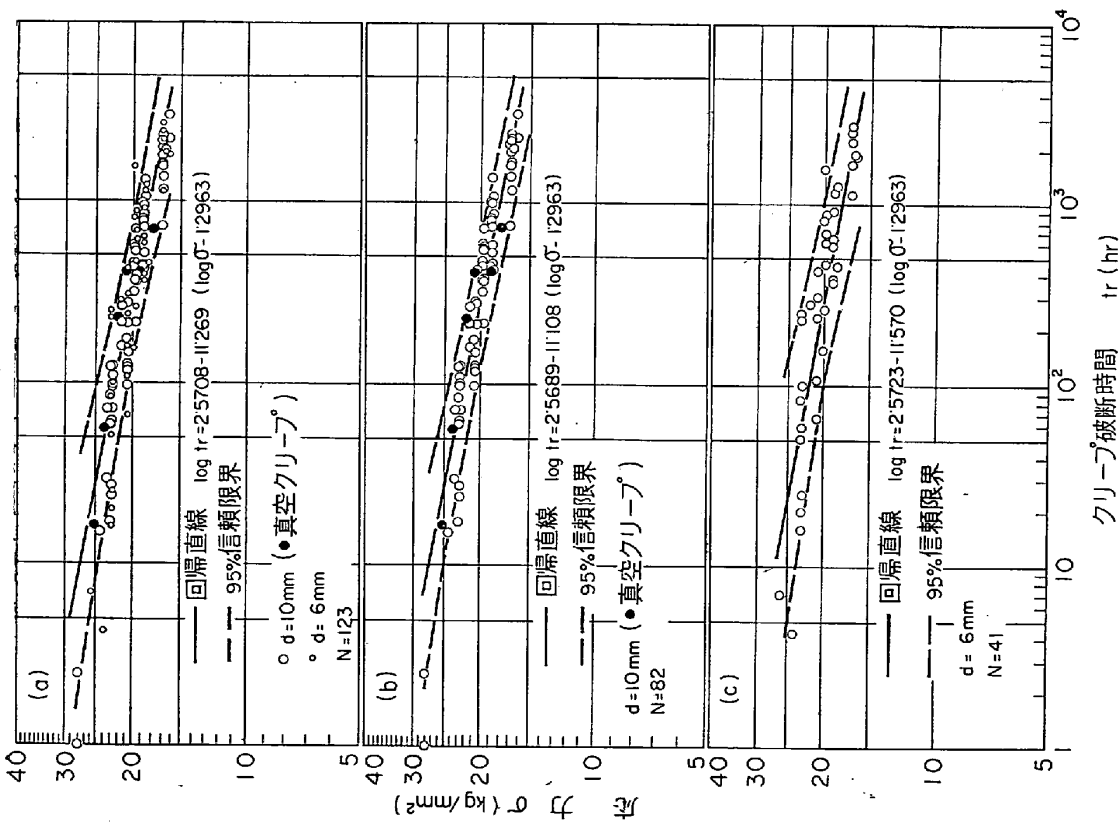
図 1 (a, b, c) は応力—破断時間曲線を示したものであつて、各図は直径 10 mm と 6 mm の総計 123 本の試験片に対するもの、および直径 10 mm, 6 mm それぞれに対するものを示す。

これら図中の直線は回帰直線を示し、以下の方法によつて回帰分析したものである。すなわち、これらすべての実験点は必ずしもある定められた定引張応力(公称応力)のもとで行なわれていないことを考慮して、いま、5つの応力段階を選んで個々の水準 x (応力 σ の対数) にお

ける破断時間の平均値に対して回帰分析を行ない、その結果上記の回帰直線を得た。ここで、 x の各水準における y (破断時間の対数) の測定値数の比較的少ない応力段階についてはその近傍の実験値をもつとも近い応力段階 x へ上述の y の平均値を結ぶ線分にそつて平行移動させることとし、この方法を繰返して最終的に収束する y の平均値に対して回帰分析を行なつた。回帰分析の結果は 1 次(直線)、2 次(曲線)ともに高度に有意であり、また両者間にはほとんど差がなかつた。この種の回帰分析方法においては、 x の各水準に対する y の測定値の母分散が等しいことが前提になつており、 y の正規分布性については第 2 回共通試験結果においてすでに確かめられており、さらに、今回の場合、5つの x の水準における y の母分散の推定値はほぼ等しい。表 6 は x の各水準に対する y の平均値 \bar{y} の回帰分析結果および x に対する y の母分散推定結果を示す。



最小クリープ速度 $\dot{\epsilon}$ (%/hr)
 試験片直径 (a) : 10mm および 6mm のものを総合 (b) : 10mmのみ (c) : 6mmのみ
 図2 応力-最小クリープ速度曲線



クリープ破断時間 t_r (hr)
 試験片直径 (a) : 10mm および 6mm (b) : 10mmのみ (c) : 6mmのみ
 図1 応力-クリープ破断時間曲線

表6 応力-破断時間関係の回帰分析結果

試験片直径 d (mm) 10 6 計(10+6)
 データ数 N (本) 82 41 123
 回帰分析 $\left. \begin{matrix} x = \log \sigma \\ y = \log t_r \end{matrix} \right\}$ 5 コの応力レベルにおける平均値に対する回帰分析

分散分析表

1 次回帰 ($y = a + bx$)

d	変 動	平方和 S.S	自由度 d.f	不偏分散 m.s.	分散比 F_0	F
10	回帰	1.1475	1	1.1475	133	10.1
	残り	0.0258	3	0.00860		
	計	1.1733	4			
6	回帰	1.2449	1	1.2449	53.9	10.1
	残り	0.0694	3	0.0231		
	計	1.3143	4			
10 + 6	回帰	1.1810	1	1.1810	100	10.1
	残り	0.0355	3	0.0118		
	計	1.2165	4			

いずれも高度に有意である.

2 次回帰 ($y = a + bx + cx^2$)

d	変 動	S.S	d.f.	m.s.	F_0	F
10	回帰 { 1 次 2 次 残り	0.7892	1	0.7892	59.8	10.1
		0.3578	1	0.3578	27.1	
		0.0263	2	0.0132		
	計	1.1733	4			
6	回帰 { 1 次 2 次 残り	0.9650	1	0.9650	27.7	10.1
		0.2797	1	0.2797	8.04	
		0.0696	2	0.0348		
	計	1.3143	4			
10 + 6	回帰 { 1 次 2 次 残り	0.5449	1	0.5449	29.5	10.1
		0.6346	1	0.6346	34.3	
		0.0370	2	0.0185		
	計	1.2165	4			

回帰直線 $d = 10 \quad \log t_r = 16.9682 - 11.108 \log \sigma$

$d = 6 \quad \log t_r = 17.5705 - 11.570 \log \sigma$

$d = 10+6 \quad \log t_r = 17.1788 - 11.269 \log \sigma$

回帰曲線 $d = 10 \quad \log t_r = 14.715 - 7.640(\log \sigma) - 1.333(\log \sigma)^2$

$d = 6 \quad \log t_r = 15.880 - 8.968(\log \sigma) - 1.000(\log \sigma)^2$

$d = 10+6 \quad \log t_r = 13.235 - 5.199(\log \sigma) - 2.333(\log \sigma)^2$

直線回帰に対する 95% 信頼限界

$$\bar{y} + b(x - \bar{x}) \pm t(\phi, \alpha) \sqrt{\left[\left(1 + \frac{1}{n} \right) + \frac{(x - \bar{x})^2}{S(xx)} \right] V_{y \cdot x}}$$

$n = 5, \quad t(3, 0.05) = 3.182$

$S(xx) = 0.0093$

$$V_{y \cdot x} = \begin{cases} 0.00860 & d = 10 \\ 0.0231 & d = 6 \\ 0.0118 & d = 10+6 \end{cases}$$

(表 6 のつづき)

各応力レベルにおけるデータの分布の検定

応力 σ	$S^2 = \sum (y - \bar{y})^2$	データ数 n	自由度 ϕ	χ^2 ($\alpha = 0.05$)	σ^2
22.9	1.755	20	19	8.91	0.197
20.8	0.701	16	15	6.26	0.112
19.9	0.218	13	12	4.40	0.0495
18.8	0.487	17	16	6.91	0.0705
17.0	0.312	16	15	6.26	0.0498

表 7 回帰分析によるクリープ破断性質のパラッキ
一覧表 × 95%信頼限外

試験機名	試験片番号	応力-破断時間		応力-最小クリープ速度		最小クリープ速度-破断時間		応力-瞬間伸び	
		d = 10	6 10 + 6	10 6 10 + 6	10 6 10 + 6	10 6 10 + 6	10 6 10 + 6		
A	50								
	2								
	88								
	156								
	73								
	5								
B	79								
	25								
	135								
	64								
C	20								
	45								
D	109								
	1	×	×						
	136	×							
	59								
	145								
	150				×		×	×	×
	61								
	62								
	67								
	66								
E	65				×				
	68								
	12								
	30								
	55				×				
F	100								
	146								
	178								
	14								
G	151								
	18								
	27								
H	103	×	×						
	174								
	53								
	43				×				
	172								
I	6								
	68								
	148								
	91								
J	113								
	60								
	162	×	×		×				
	78								
K	15								
	24								
	155								
	121								
L	42								
	8	×							
	28								
	40								
M	137								
	171								
	104								
	38								
N	98								
	118								
	180								
	17								

J	179	×							
	90								
	115								
	46								
K	3								
	169								
	61				×			×	×
	6								
	166								
	66								
L	76								
	58								
	33								
	57								
	54								
M	75								
	81								
	168								
	9	×			×				
N	86								
	126								
	173								
	108								
O	93								
	62								
	161								
	129								
P	39								
	48								
	52								
	94								
Q	170								
	128								
	132								
R	164								
	35								
	101								
	69								
S	49								
	41								
	31								
	47								
	65								
T	105								
	117								
	124								
	70								
	70								
U	71								
	67								
	175								
	119								
V	26								
	147								
	159								
	163								
W	104								
	38								
	98								
	118								
	180								

(表7のつづき)

V	165 72 57	x	x	
W	44 107 112 102 177		x	

表8 回帰分析によるクリープ破断強度とそのバラツキ

破断時間 (hr)	100	300	500	1000	3000
応力 (kg/mm ²)	22.2 ±2.0	20.2 ±1.7	19.3 ±1.5	18.1 ±1.7	16.4 ±2.0

図1における点線は回帰直線による任意のyに対する区間推定結果を示し、点線中の上、下線はそれぞれ95%信頼限界の上下限を示す。なお、この場合の信頼限界の計算結果は同じく表6に詳しい。図1からわかるように大部分の実験点はこの信頼限界の帯の中に入るが、この点の詳細を示したものが表7である。すなわち、表7は

直線回帰からのバラツキを各試験機関データについて一覧表にしたものであつて、表5の試験結果一覧表に準じて各試験機関の符号および試験片番号別に、試験片直径10mm、6mmのそれぞれおよび10mmと6mm径のものを総計した3つの場合について示した。ここで注意せねばならないことは、直径6mmおよび10mmを総計した場合に信頼限界内にあつても、直径6mmおよび10mmのそれぞれ単独の場合には必ずしもそれらの信頼限界内に入らないものが認められるが、このことは図1における回帰直線が3つの場合について必ずしも同一でないことによるものである。

なお表8は破断時間t=100, 300, 500, 1000 および3000 hrにおけるクリープ破断強度のバラツキの一覧表を示す。

5.2 応力-最小クリープ速度

図2は試験片直径10mm および6mmを総合した場合、ならびに10mm および6mm mmのそれぞれの場合について、その応力-最小クリープ速度曲線を示したものである。また、回帰分析は直線回帰によつた。すなわち、図中の実線は回帰直線を、点線は95%信頼限界の上下限を示したものである。なお、この場合、x (= log σ) の各水準に対するy (= log ε̇) の母分散は推定の結果ほぼ等しかつた。これらの回帰分析結果を表9に示

表9 応力…最小クリープ速度関係の回帰分析結果

試験片直径 d (mm)	10	6	計
データ数 N (本)	77	40	117
$x = \log \sigma, y = \log \dot{\epsilon}$			

分散分析表

d	変動	平方和 S.S.	自由度 d.f.	不偏分散 m.s.	分散比 F ₀	F
10	回帰	48.4596	1	48.4596	662	3.98
	残り	5.4873	75	0.07316		
	計	53.9469	76			F ₀ > F
6	回帰	24.7859	1	24.7859	93	4.13
	残り	10.1402	38	0.2668		
	計	34.9261	39			F ₀ > F
10+6	回帰	78.4678	1	78.4678	1824	3.92
	残り	4.9474	115	0.04302		
	計	83.4152	116			F ₀ > F

いずれも有意である。

回帰直線

d = 10 log ε̇ = -22.285 + 15.922 log σ
 6 log ε̇ = -22.121 + 15.712 log σ
 10+6 log ε̇ = -22.127 + 15.771 log σ

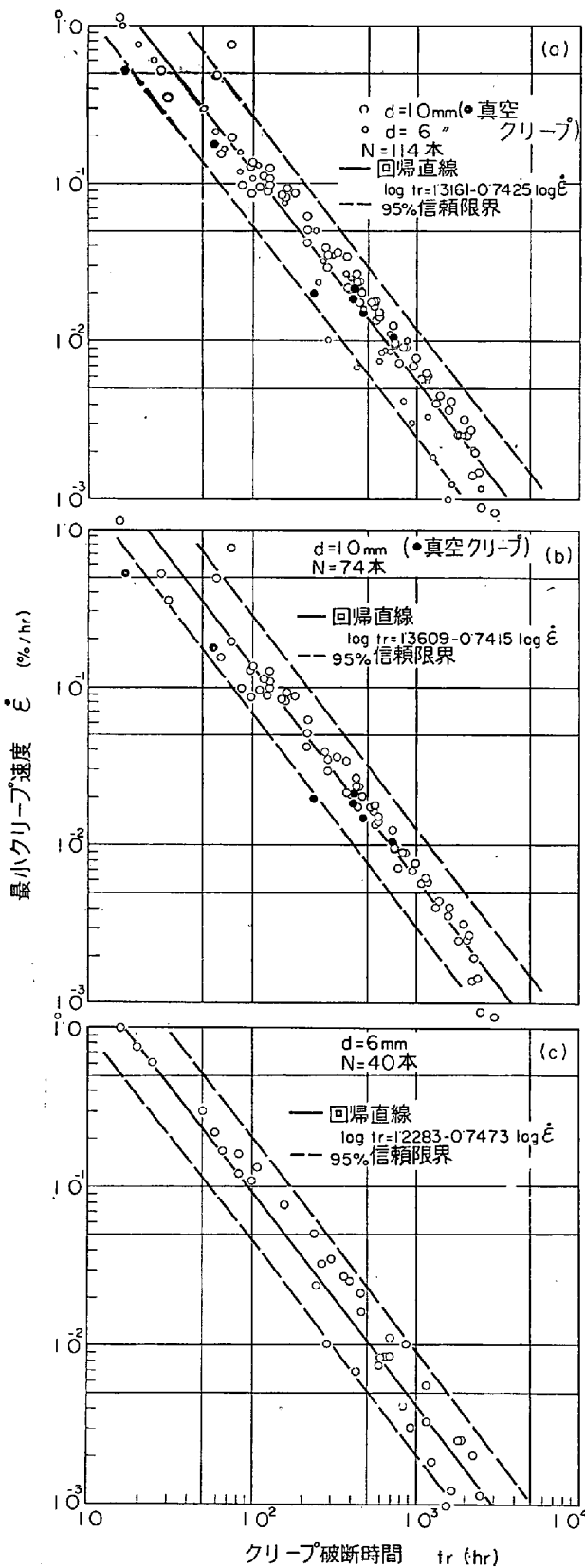
バラツキ範囲 ±√V_{y·x}

±0.2705
 ±0.5165
 ±0.2074

95%信頼限界

$$\bar{y} + b(x_i - \bar{x}) \pm t(\phi, \alpha) \sqrt{\left[\left(1 + \frac{1}{n}\right) + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{S(xx)} \right] \cdot V_{y \cdot x}}$$

d	10	6	計(10+6)
t(φ, α)	1.995	2.025	1.982
S(xx)	0.2128	0.1004	0.3155
V _{y·x}	0.07316	0.2668	0.04302



試験片直径 (a) : 10mm および 6mm (b) : 10mm のみ (c) : 6mm のみ

図3 最小クリープ速度-破断時間曲線

す。

表7中には回帰分析による最小クリープ速度のパラッ

キを95%信頼限界基準でもって各試験機別に示した。ただし、試験応力および最小クリープ速度の個々の値は省略した。

5.3 最小クリープ速度-破断時間

図3は試験片直径10mmと6mmのものを総合した場合、10mmのみの場合および6mmのみの場合について、最小クリープ速度とクリープ破断時間との関係を両対数目盛上に示したものであり、いずれの場合も両対数目盛上でほぼ直線となり、その傾斜は-1に近いものとなっている。この関係は、いわゆる Monkman-Grant の関係としてよく知られているものではあるが、ここでは一応両者の相関分析を行ない、しかる後その回帰分析とデータのバラツキの検討を行なった。すなわち、表10は最小クリープ速度とクリープ破断時間の間の相関分析を4種類の検定法で行なったものであり、いずれの場合も高度に有意であつて、両者間には明らかな相関があることがわかつた。さらに、(i) および (ii) の分析結果から最小クリープ速度 ($x = \log \dot{\epsilon}$) と破断時間 ($y = \log t_r$) は2次元正規分布の母集団からの試料とみなすことができ、回帰分析の結果は前記3つの場合、いずれも高度に有意であつて直線関係にあるということが出来る。

また、直径10mmと6mmの両者の場合について回帰の差の検定を行なった結果、両者の回帰係数(直線の勾配)には差がないが、切片に若干の相違のあることが指摘された。その結果も表10に示されている。

図3の直線は回帰直線を、また、その上下限界線は95%信頼限界を示したものである。この95%信頼限界外にあるデータは試験機別に表7に1一覧表として示している。

5.4 応力-瞬間伸び(ひずみ)

図4は負荷応力と瞬間伸び(ひずみ)との関係を両対数目盛に示したものである。一般に時間に依存しない瞬間ひずみは負荷応力のべき関数で表わされることが多い。したがつて、ここでは応力と瞬間ひずみの各対数値について回帰分析を行なった。その結果、直線回帰はいずれも有意であることがわかつた。それを表11に示す。

図4中には回帰直線とその95%信頼限界を併示している。図より、瞬間ひずみにはかなりのバラツキがあるが、その主な原因は負荷方法が各試験機関によつて相違すること、瞬間伸びの測定方法が困難なため十分な精度が得られないことなどによると考えられる。

5.5 破断伸びおよび破断絞り

図5は破断伸びおよび破断絞りと破断時間の関係を示したものである。実験を行なった範囲内では両者間には明確な相関性は認められないが、破断絞りは破断時間の増加にしたがつて幾分減少する傾向があるようである。

また、図6は負荷応力と破断伸びあるいは破断絞りの関係を示す線図であるが、両者間には大きなバラツキがあつて明確な相関性は認められない。

5.6 クリープ曲線

図7(a, b, c)はそれぞれ引張応力22.9, 19.9 および 17.0 kg/mm²における各クリープ曲線群を示したものである。このような表示においては個々の試験結果のバラツキがより明確に認められる。いずれも負荷直後からすでにかなりのバラツキがあるが、とくに、第3

表10 最小クリープ速度—破断時間の相関分析および回帰分析結果

試験片直径	d (mm)	10	6	計(10+6)
データ数	N (本)	74	40	114
		$x = \log \dot{\epsilon}$ $y = \log t_r$		
相関分析				
相関係数	r_0	-0.9779	-0.9866	-0.9773
負 相 関				
(i)	r 検定			
	危険率 α	0.05	0.05	0.05
	自由度 $\phi = N - 2$	72	38	112
	$r(\phi; \alpha)$	0.229	0.314	0.184
r_0 > r 高度に有意				
(ii)	u 検定 ($N \geq 100$)			
	$u_0 = r_0 \sqrt{N-1}$			-10.39
	$n(\alpha)$			1.96
u_0 > u 高度に有意				
(iii)	t 検定 ($N < 100$)			
	$t_0 = r_0 \sqrt{N-2} / \sqrt{1-r_0^2}$		-39.70	-37.29
	$t(\phi, \alpha)$		2.000	2.042
t_0 > t 高度に有意				
(iv)	F 検定 ($N < 100$)			
	$F_0 = r_0^2(N-2)/(1-r_0^2)$		1576	1391
	$F(\phi_1, \phi_2; \alpha)$		4.00	4.17
$F_0 > F$ 高度に有意				

$d = 6 \text{ mm}, 10 \text{ mm}$ および総データについて x と y の間に相関があるといえる。

回帰分析
分散分析表

d	変 動	平方和 S.S.	自由度 d.f.	不偏分散 m.s.	分散比 F_0	F
10	回 帰	20.7622	1	20.7622	1575	4.0
	残 差	0.9491	72	0.01318		
	計	21.7113	73			$F_0 > F$
6	回 帰	19.5059	1	19.5059	1382	4.1
	残 差	0.5362	38	0.01411		
	計	20.0421	39			$F_0 > F$
10+6	回 帰	40.0981	1	40.0981	2391	3.9
	残 差	1.8784	112	0.01677		
	計	41.9765	113			$F_0 > F$

いずれも高度に有意である。

回帰直線 $d = 10$ $y = 2.5535 - 0.7415(x + 1.6083)$
 $d = 6$ $y = 2.4608 - 0.7473(x + 1.6493)$
 $d = 10+6$ $y = 2.5210 - 0.7425(x + 1.6227)$

95%信頼限界

$$\bar{y} + b(x_i - \bar{x}) \pm t(\phi, \alpha) \sqrt{\left[\left(1 + \frac{1}{n}\right) + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{S((xx))} \right] \cdot V_{y \cdot x}}$$

d	10	6	10+6
$t(\phi, \alpha)$	1.996	2.025	1.983
$S((xx))$	37.7642	34.9267	72.7347
$V_{y \cdot x}$	0.01318	0.01411	0.01677

$d = 10 \text{ mm}$ と 6 mm の間の回帰の差の検定

回帰係数の差の検定

$$\left. \begin{aligned} F_0 &= (V_{y \cdot x})_{10} / (V_{y \cdot x})_6 = 0.9341 \\ F &= (F_{\phi_{10}, \phi_6; \alpha/2}) = 1.95 \end{aligned} \right\} F_0 < F \text{ 有意でない. (両者の不偏分散に差はない)}$$

(表 10 のつづき)

$$\begin{aligned}
 V_{y \cdot x} &= [(S_{y \cdot x})_{10} + (S_{y \cdot x})_6] / (N_{10} + N_6 - 4) = 0.01350 \\
 t_0 &= (b_{10} - b_6) / \sqrt{[(1/S_{xx})_{10} + (1/S_{xx})_6] \cdot V_{y \cdot x}} = 0.212 \\
 + (\phi, \alpha) &= 1.99
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} V_{y \cdot x} \\ t_0 \\ + (\phi, \alpha) \end{aligned}} \right\} |t_0| < t \text{ 有意でない}$$

回帰係数 b に差はない

切片の差の検定

$$\begin{aligned}
 t_0 &= (a_{10} - a_6) / \sqrt{[(\sum x^2 / S_{xx}) \cdot N]_{10} + (\sum x^2 / S_{xx}) \cdot N]_6 \cdot V_{y \cdot x}} = 2.27 \\
 |t_0| &> t (\phi, \alpha) = 1.99
 \end{aligned}$$

有意である。すなわち、切片には差があるといえる。

表11 応力-瞬間伸び(ひずみ)関係の回帰分析結果

試験片直径 d (mm) 10 6 計
 データ数 (N 本) 76 30 106
 $x = \log \sigma$
 $y = \log \epsilon_0$

分散分析表

d	変 動	平方知 S.S.	自由度 d.f.	不偏分散 m.s.	分散比 F_0	F
10	回 帰	1.9899	1	1.9899	352	3.98
	残 差	0.4187	74	0.00566		
	計	2.4086	75			
6	回 帰	0.70036	1	0.70036	35.0	4.20
	残 差	0.55972	28	0.0200		
	計	1.26008	29			
10+6	回 帰	2.5033	1	2.5033	222	3.92
	残 差	1.1731	104	0.01128		
	計	3.6764	105			

いずれも有意である。

回帰直線 $d = 10$ $y = 0.11590 + 3.0615(x - 1.2938)$
 6 $y = 0.09693 + 3.3055(x - 1.2981)$
 $10+6$ $y = 0.11053 + 3.1257(x - 1.2950)$

95%信頼限界

$$\bar{y} + b(x_i - \bar{x}) \pm t(\phi, \alpha) \sqrt{\left[\left(1 + \frac{1}{n}\right) + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right] \cdot V_{y \cdot x}}$$

d	10	6	10+6
$t(\phi, \alpha)$	1.996	2.048	1.985
S_{xx}	0.2123	0.0641	0.2752
$V_{y \cdot x}$	0.00566	0.0200	0.01128

期クリープ (加速クリープ) の始まる時間に顕著なバラツキのあることが認められる。このことが破断時間のバラツキとなる原因の1つと思われる。

5.7 試験片直径の測定方法

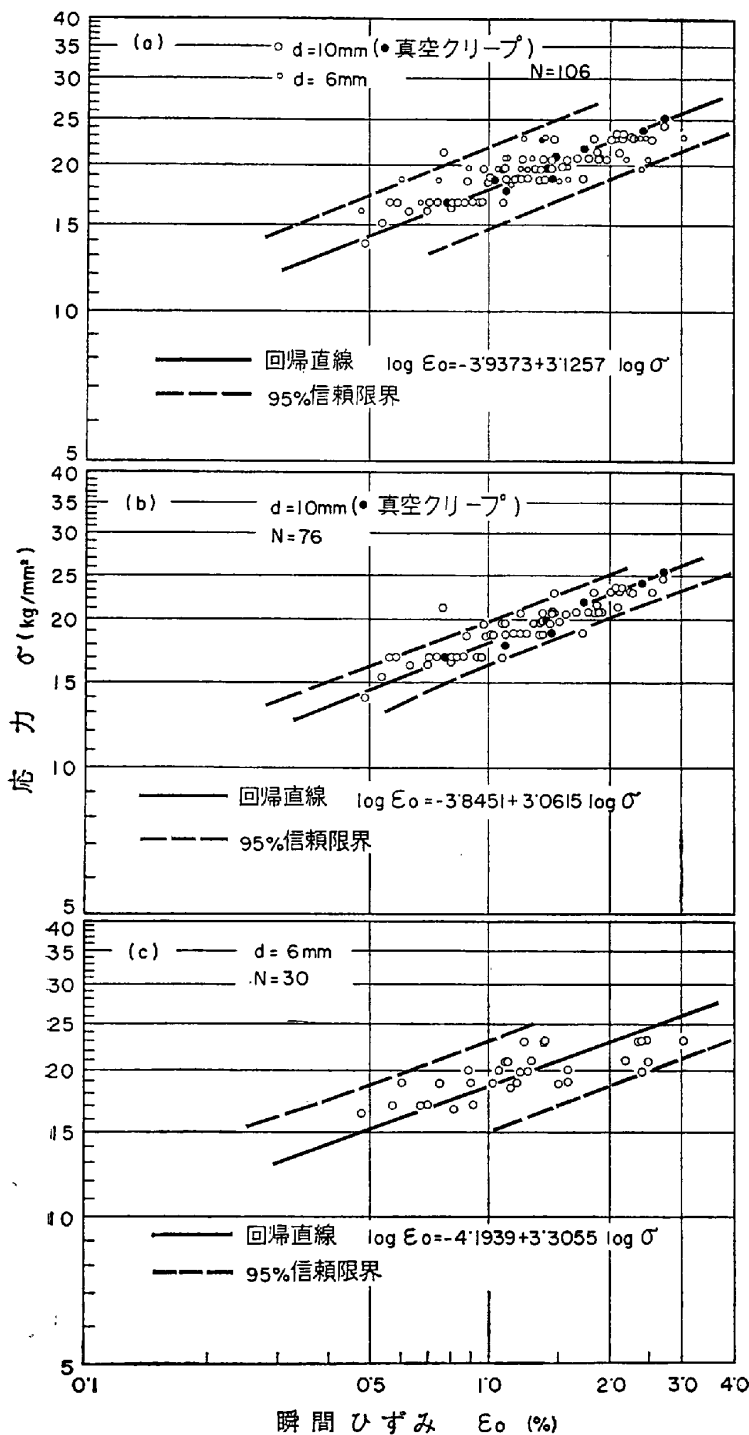
処女試片については、すべて測定器具として1/100 mm マイクロメータを用いており、測定箇所は標点間3カ所 (あるいは5カ所) において直角2方向より測定している。試験片直径としてはこれら測定値のうちの最小のものをとった試験機もあるが、大部分の機関は平均値を採用している。ただし、試験片の加工精度の点からして両者にほとんど相違は認められない。

破断試片については、測定器具としてポイントマイク

ロメータ (1/100 mm) を用いた機関が7件、ノギス (1/20 mm) を用いた機関が9件である。いずれも破断部の直径を数カ所測定しているが、測定値の平均値を破断直径としているものと、測定値のうちの最小のものを採用しているものとがある。しかし、破断絞りのバラツキの原因がこれら測定器具、測定カ所あるいは測定方法の相違によるものであるとは断定し難い。

5.8 荷重負荷方法および瞬間伸び測定方法

荷重負荷方法としては、大部分ジャッキによつていますが、なかには荷重受皿に重錘を順次のせていく方法 (約20 kg づつ) を採用している機関 (3件) もあつた。ジャッキによる方法にも、初荷重をほぼ2 kg (約0.7 kg/



試験片直径 (a): 10mmおよび6mm (b): 10mmのみ (c) 6mmのみ
 図4 応力-瞬間伸び(ひずみ)線図

mm²) 負荷した状態を伸びの零点として、しかる後所定の荷重をジャッキによつてかけるものや、無負荷状態を零点として所定の荷重をジャッキによつて一気にかけるものなど、その方法は種々である。また、荷重を負荷し終るまでの時間(負荷速度)を一定に決めて試験を行なつた機関もあるが、大部分は不明である。

瞬間伸び(ひずみ)としては、大部分の機関が全荷重を負荷し終つた瞬間の伸びを採用しているが、なかには1min経過後の伸びを瞬間伸びとしているものや、伸び

(ひずみ)-時間線図(クリープ曲線の初期の部分拡大した線図)から負荷瞬間時の伸びを外挿してそれを瞬間伸びとしているものもある。

いずれにしても、荷重負荷方法あるいは瞬間伸び測定方法の違いが瞬間伸びのパラッキの要因であるという明確な解答は得られなかつた。

1試験機関においてもある程度のパラッキが認められることからして、伸び引出棒やダイヤルゲージの取付けのガタ、左右ダイヤルゲージの読みの差が大きいことなど、他の原因も瞬間伸びのパラッキに影響しているものと思われる。

5.9 応力-破断時間曲線における線の引き方

応力-破断時間曲線における線の引き方としては、最小二乗法によつて直線(回帰直線)を求めたものが4件、目測によつて直線あるいは曲線を引いたものが10件であつた。ただし、1試験機関においてデータのバラッキの大きいものがかなりあり、この場合にはとくにはずれていると思われるデータをのぞいて直線あるいは曲線が引かれている。

各試験機関における応力-破断時間曲線と5.1における総データに対する回帰直線との関係、および各試験機関における内外挿値(表5)と回帰分析の結果求められたクリープ破断強度(表8)との関係についてはとくに検討を加えなかつた。

6. 総括

本共通クリープ破断試験結果およびその考察から次のことがら結論される。

(1) 応力-破断時間関係において、応力の対数の各水準に対する破断時間の対数の正規分布がほぼ確認され、また、各水準に対するこれらの母分散がほぼ等しいことが認められた。回帰分析の結果、応力の対数と破断時間の対数の関係は直線で十分表わし得ること、および95%信頼限界内にある実験点の全体に対する割合は直径10mmの試験片についてはその径の試験片総数の91.5%、6mm径のものでは92.7%両者統計したものでは90.2%であることがわかつた。なお、各試験機関における個々の実験結果の区間推定値(95%信頼限界)に対する関係を表7に他のクリープ性質を含めて一覧表とした。

(2) 上述の直線回帰分析から求められた本材料のクリープ破断強度は、100hr強度が22.2 kg/mm²、1000hr強度が18.1 kg/mm²、3000hr強度が16.4 kg/mm²であつた。

(3) 直径10mmと直径6mmの試験片に対するクリープ破断時間に関する実験結果の間には若干の有意差が認められ、両者の回帰直線構造(回帰直線の係数の値)不偏分散には若干の相違があつた。すなわち、直径6mmのものは直径10mmのものに比べて本試験の範囲内では同一応力に対する破断時間がわずかに短かく、かつバラッキが大きい傾向にあることが確認された。この

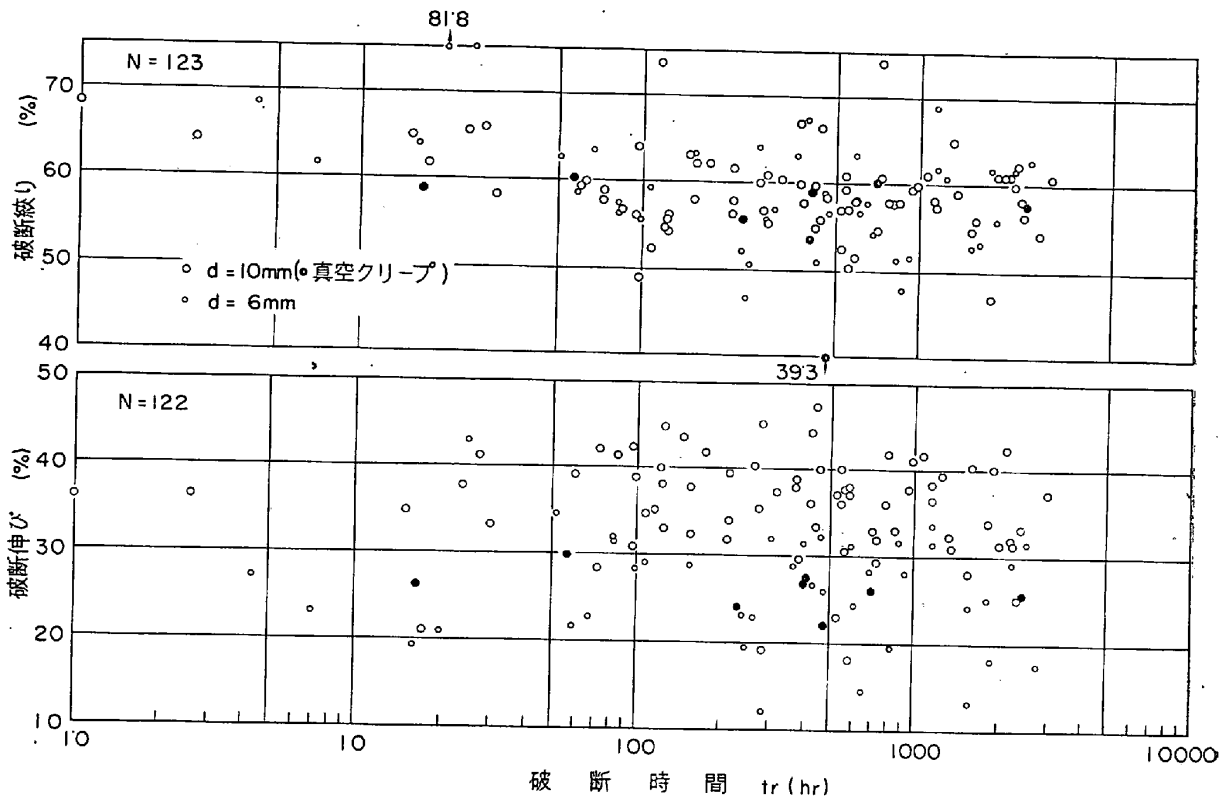


図 5 破断伸び(絞り)—破断時間線図

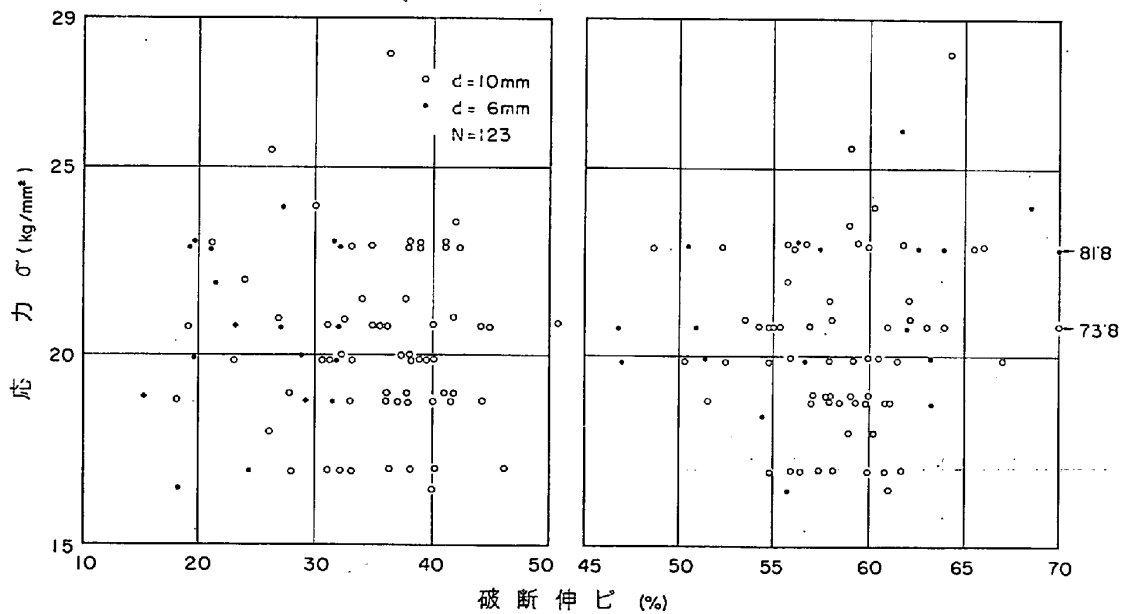


図 6 応力—破断伸び(絞り)関係

ことは前回 (第 2 回) の結果と一致する。

(4) 応力—最小クリープ速度曲線において、応力の対数の各水準に対する最小クリープ速度の対数の正規分布性がほぼ確認され、回帰分析の結果、応力の対数と最小クリープ速度の対数とは回帰直線で表わされることがわかった。また、その 95% 信頼限界内にある実験点の全体に対する割合は、直径 10mm のものはその径の全

実験点の 97.4%、6mm 径のものは 97.5%、両者統計したものでは 79.5% である。直径 10mm と 6mm の試験片に対する応力—最小クリープ速度曲線の間には、回帰直線構造および不偏分数値に若干の相違が認められ、両者の最小クリープ速度の値には大差はないが、6mm 径の方が 10mm 径のものに比べてパラツキが大きくなる傾向にある。

(5) 最小クリープ速度と破断時間の間には試験応力に関係なく高度に有意な相関性があり、かつ両者の対数値は直線関係にあつて、いわゆるGrant-Monkman の関係を示した。なお、その 95% 信頼限界内に入る実験点の全体に対する割合は、直径 10 mm ではその径の試験片に対する全実験点の 95.1%, 6 mm の場合は 90%, 両者を総合した場合は 92.1% であつた。直径 10 mm と 6 mm の場合について、両者の回帰の差を検定した結果、回帰係数(直線のこう配)に差はないが、切片に若干の差のあることが認められた。

(6) 応力-瞬間伸び(ひずみ)関係は、応力の対数と瞬間伸びの対数の回帰分析によつて、直線回帰で表わすことができることが確かめられた。ただし、瞬間伸びにはかなりのバラッキが認められ、この変動要因としては負荷方法や瞬間伸び測定方法が考えられるが、明確な解析は行ない得なかつた。直径 10 mm と 6 mm の場合の相違については、瞬間伸びの値には大差は認められないが、6 mm 径の場合の方がバラッキが大きくなることがわかつた。

(7) 破断伸び(絞り)-破断時間および応力-破断伸び(絞り)の関係については、破断伸び(絞り)にバラッキが大きく、明確な相関関係は認められなかつた。

また、クリープ曲線についても 2, 3 の応力段階について検討した結果、顕著なバラッキが明確に認められ、とくに第 3 期クリープの開始点の時間にバラッキの大きいことが判明した。

(8) (1)~(7)で述べたクリープ性質のパラッキ、とくに瞬間伸び、破断伸び、破断絞りおよびクリープ破断線図についてのバラッキの要因を調べるためには、さらにこれらの変動要因を逐一追究できる実験計画が必要である。たとえば、負荷速度(階段負荷の有無を含む)、均熱時間(JIS Z 2272 では 20 ± 4 hr)、温度差および温度変動(JIS Z 2272 では標点距離間の位置的並びに時間的変化の許容範囲は ± 4 °C)、および微量元素(炭素鋼ではたとえば N, Al など)と熱処理などの変動因子を調べるための実験計画や、クリープ破断性質のパラッキとクラックの発生とその成長との(形状)関係を調べるための実験計画などが考えられよう。さらに、本試験では、1000hr 以上の試料数が 1000 hr 以下

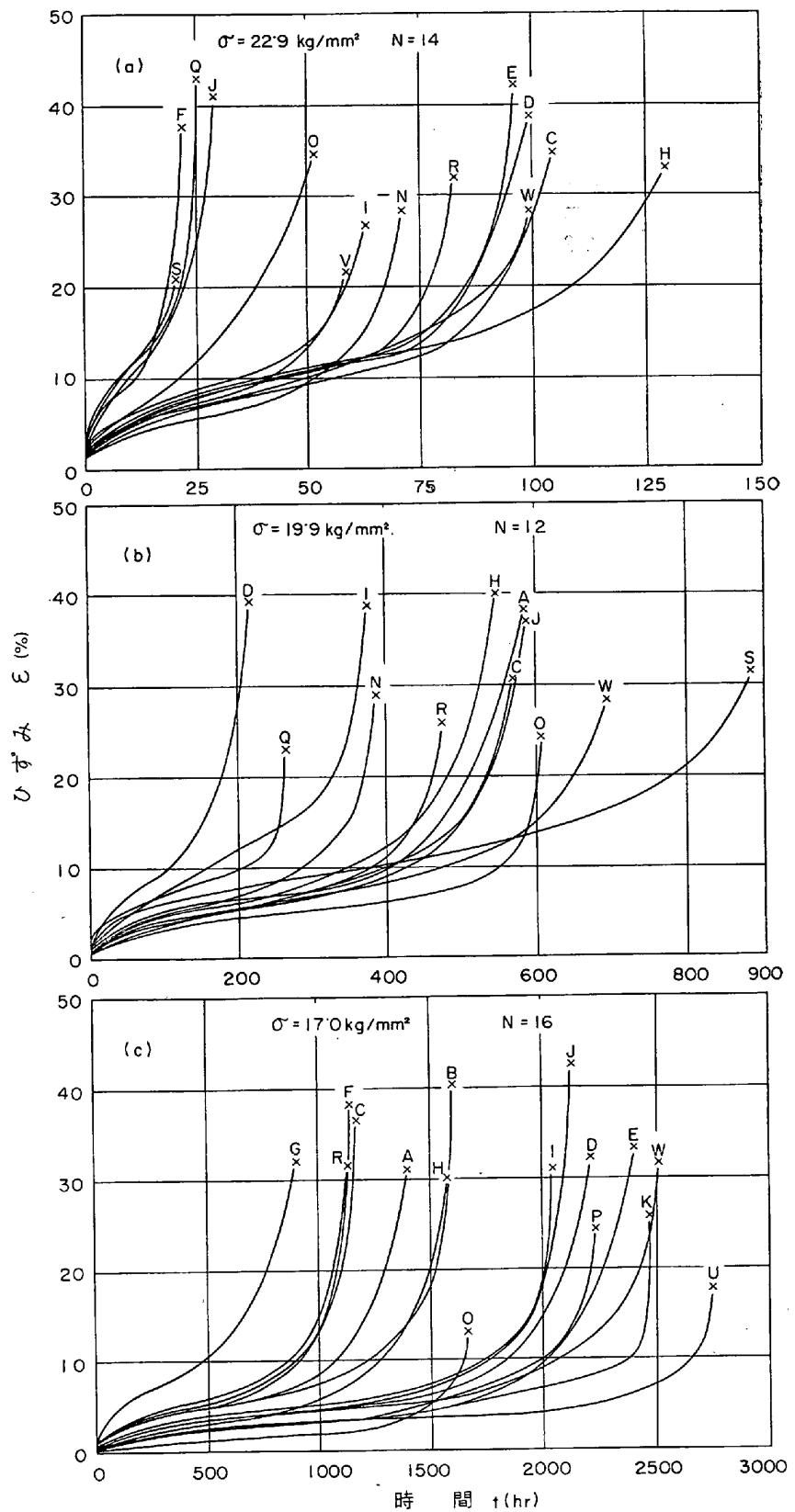


図7 クリープ曲線

のそれに比べていちじるしく少ないことから、1000 hr 以上のクリープ破断性質のパラッキ問題についてはさらに今後長時間クリープに関する共通試験の計画・実施が望まれる。

報告書作成委員

主査 平 修二 (京都大学工学部)
 幹事 大南 正瑛 (立命館大学理工学部)
 委員 砂本 大造 (三菱重工, 神戸研究所)
 // 藤原 達雄 (大同製鋼, 中央研究所)
 // 前田 徳美 (川崎重工, 技術研究所)
 // 三好 栄次 (住友金属, 中央技術研究所)
 // 山本 俊二 (神戸製鋼, 中央研究所)

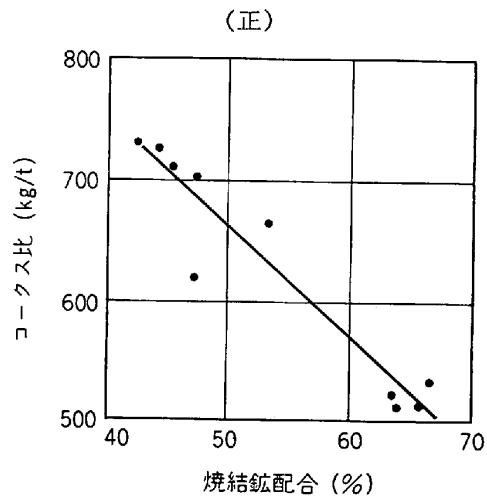
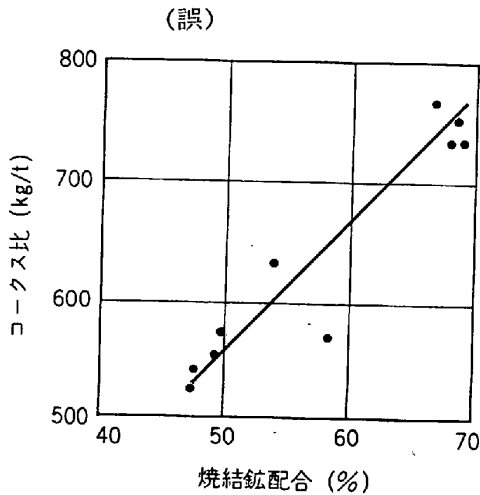
(株)神戸製鋼所中央研究所
 大同製鋼(株)中央研究所
 三菱重工(株)神戸研究所
 東北大学工学部金属材料工学教室
 石川島播磨重工業(株)技術研究所
 三菱製鋼(株)長崎製鋼所
 日新製鋼(株)周南製鋼所研究所
 (株)日本製鋼所室蘭製作所研究所
 日本特殊鋼(株)
 川崎製鉄(株)技術研究所
 愛知製鋼(株)研究開発部
 日立金属工業(株)安来工場
 山陽特殊製鋼(株)研究所
 三菱重工業(株)長崎研究所
 日本冶金工業(株)川崎製造所
 八幡鋼管(株)研究部

本試験に参加した試験機関名(順不同)

住友金属工業(株)中央技術研究所
 (株)日立製作所日立研究所
 八幡製鉄(株)技術研究所
 富士製鉄(株)中央研究所
 日本鋼管(株)技術研究所
 金属材料技術研究所
 住友軽金属工業(株)研究部

正 誤 表

- (1) 第 52 年 (1966) 第 5 号
 技術資料「薄鋼板の集合組織」
 本文 885 ページ右段, 第 2 図と第 3 図の説明が逆になりましたのでお知らせいたします。
 (2) 第 52 年 (1966) 第 8 号
 特別講演「製鉄・製鋼技術の今昔」
 本文 1218 ページ左段, 第 5 図



- (3) 第 52 年 (1966) 第 8 号
 誌上討論 講演 38「大型高炉における高圧操業について」
 本文 1264 ページ左段。

—質問の項—
 (誤)
 ……………大量使用(7%)されても………
 —解答の項—
 (誤)

(正)
 ……………大量使用(70%)されても………
 (正)

Table 2

期間	ストリップ	棚 吊
S.40.10.1~31	18	8
S.40.10.6~ 8	0	8

期間	ストリップ	棚 吊
S.40.10.1~31	18	8
S.40.10.6~ 8	0	0