

ケーブル鉛被用各種鉛合金の耐クリープ性

The Creep Resistance of Various Lead Alloys for Cable Sheathing

山路 賢吉* 大内 敬次*

Kenkichi Yamaji

Keiji Ouchi

内 容 梗 概

ケーブル鉛被用合金として要求される性質としては、製造が容易なこと、耐疲労性、耐蝕性などの良好なことそのほか種々あるが、耐クリープ性の良好なことその重要な性質の一つである。

われわれはケーブル鉛被の耐クリープ性を研究するため多くの実験を行つているが、今回はその一部について報告する。供試材は純鉛、更合金ならびに鉛に対して固溶限の少ない元素を含み共晶組成に近い Pb-Te 合金および Pb-Zn-Cu 系合金計 16 種である。クリープ試験としては常温で応力 11~77 kg/cm² の範囲で、1 年~1 年 8 箇月にわたつて一定荷重で試験を行つた。ケーブル鉛被として問題になる比較的応力のクリープ試験のためには、もつと長期間の試験が必要であり、どの合金が耐クリープ性が良好であるかについて早急な結論を下すことはできなかつたが、現在までに得られた結果を要約すると次のようになる。

(1) 実際の使用状態に近い低荷重クリープでは、純鉛が Pb-Sn, Pb-Sb または Pb-Sn-Sb 合金より良好な耐クリープ性を示す。

(2) 実験データより推定すると、低荷重クリープでは Pb-Cu 合金が良好で Pb-Zn, Pb-Cu-Zn 合金はこれに劣るものと思われる。Pb-Te 合金では、供試組成範囲内で Te 添加量の増大とともに高応力における耐クリープ性は良好となる。

(3) 本実験範囲内ではクリープ破断時の伸びは、純鉛が最も小さく、更合金の中では Pb-Sn-Sb 3 元素合金が最も大きい。

(4) 純鉛はクリープ過程で結晶粒の成長を示すが、ほかの合金ではこの現象は認められない。

(5) 長時間のクリープ曲線には E. N. Andrade 氏の式は適用できない。またクリープ速度と応力との関係を示す R. W. Bailey 氏の式は鉛、鉛合金に一般的には適用できない。

〔I〕 緒 言

ケーブル鉛被は主として紙絶縁ケーブルの被覆として古くから使用されてきた。その特長は柔軟性、耐蝕性の良好なことであるが、その反面鉛はあまりにもその降伏強度が低いために、ケーブルの布設状態により絶縁混和物の流下の多い場合や負荷変動の激しい場合には鉛被内圧の増大により半径方向に膨張し、ついには絶縁体内に空隙を増しイオン化による劣化を促進することとなる。また近年わが国でも広く使用されるようになった OF (油入) ケーブルやガス圧ケーブルのように鉛被に内圧が加わるケーブルでは、もちろん耐クリープ性のすぐれていることが要求される。

米国においては、ケーブル鉛被用鉛およびその合金について 1932 年ころより H. F. Moore 氏一派の精力的な研究が行われ⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾、Pb, Pb-Sn, Pb-Sb, Pb-Ca 合金のクリープ⁽¹⁾ Pb-Ca, Pb-Cu, Pb-Sn-Sb などの合金のクリープ、疲労⁽²⁾⁻⁽⁵⁾ Pb-As 合金のクリープ、疲労⁽⁶⁾ などについて詳細な実験結果が発表されている。そのほか諸外国においても数多くの研究が長年月にわたり行われている状況である⁽⁷⁾。また最近では集積したデータをいかに解明するか、長時間クリープと短時間クリープとの関連性、クリープ過程における金属組織上の変化などの究明などについてもかなり進歩した研究が行われてい

る⁽⁸⁾⁻⁽¹⁴⁾。しかしながら現在のところでは、研究結果がケーブルの設計上まで応用できる段階にはいたつておらず、わずかに L. F. Hickernell 氏らの発表があるだけである⁽¹⁵⁾。彼らによれば、クリープによる鉛被の伸びの許容限界を 40 年間で数パーセントと考えて鉛被設計時のクリープに対する限界応力を Pb-Cu 合金については、10.5kg/cm²、Pb-As 合金については 17.5 kg/cm² としている。

以上のように鉛被のクリープについては、数多くの研究があり、鉛被用合金として耐クリープ性の良好なことはもちろん必要であるが、その目的上ほかの性質も同様に要求される。すなわち耐疲労性、耐経年性(時効硬化、自己焼鈍などに対する安定性)、製造加工性(熔解、鑄造、押出および接続などを含む)、耐蝕性および耐磨耗性などが良好なことも必要である。したがつていかに耐クリープ性が良好な合金であつても製造上困難な問題がよこたわる場合は実用化することはできない。

われわれは上記の要求を満足できるような鉛被用合金を見出すため一連の研究⁽¹⁶⁾⁻⁽¹⁸⁾を行つているが、今回はその一部である各種鉛被用合金の常温におけるクリープについて実験した結果を報告する。

〔II〕 試料および実験方法

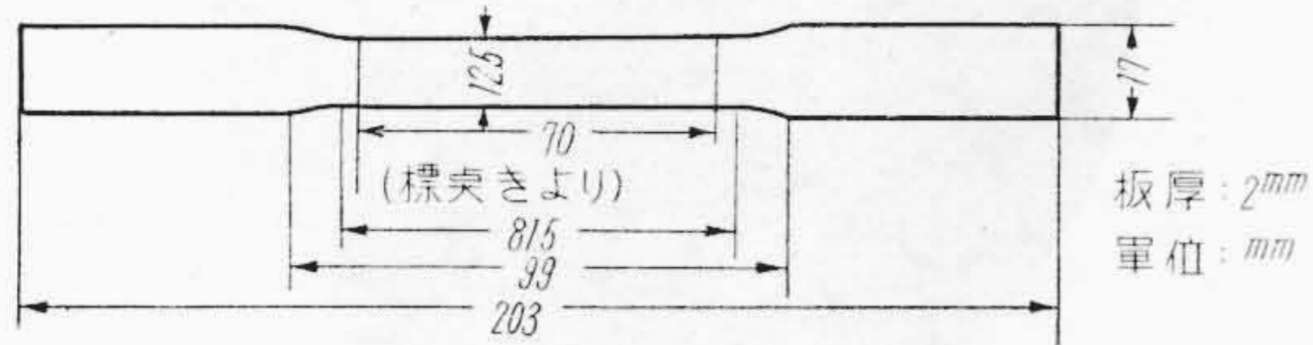
(1) 試 料

第 1 表は使用した鉛の分析結果を示す。この表よりわ

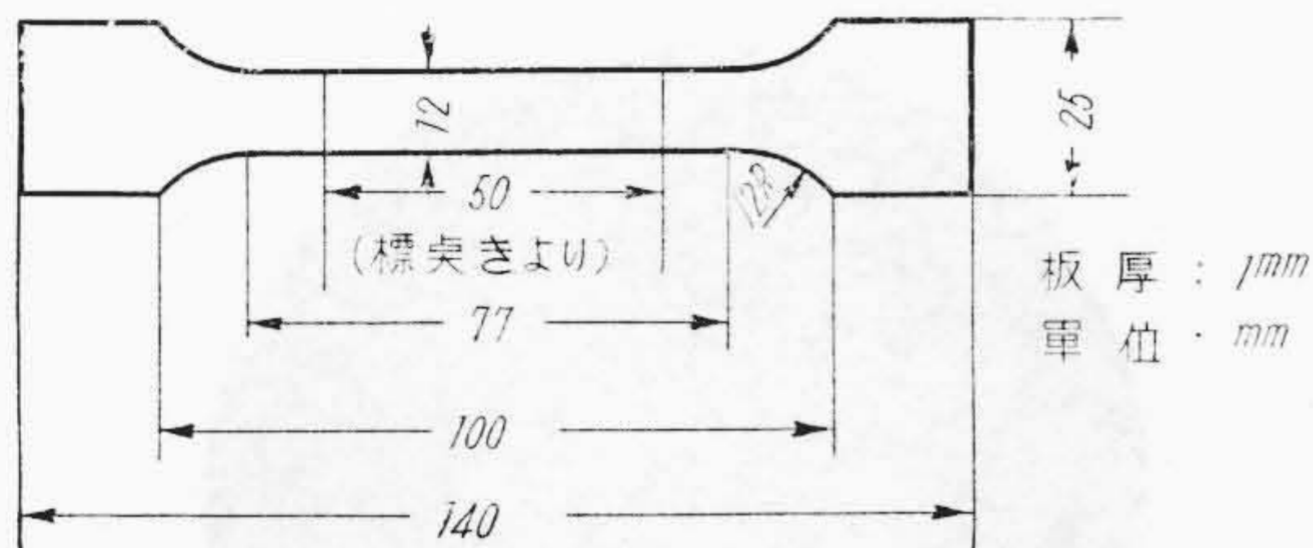
* 日立電線株式会社電線工場

第1表 供試鉛の分析結果

種類	分析結果 (%)						
	As	Cu	Fe	Ag	Bi	Zn	Sn+Sb
供試鉛	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002	0.005
第1種鉛	<0.005	<0.003	<0.004	<0.002	<0.01	<0.002	<0.007



第1図 長時間クリープ試験片



第2図 抗張力試験片

かるように供試鉛は、日本標準規格第1種鉛に相当するもので純度は99.98%であり、一般にケーブル鉛被用として使用されているものである。

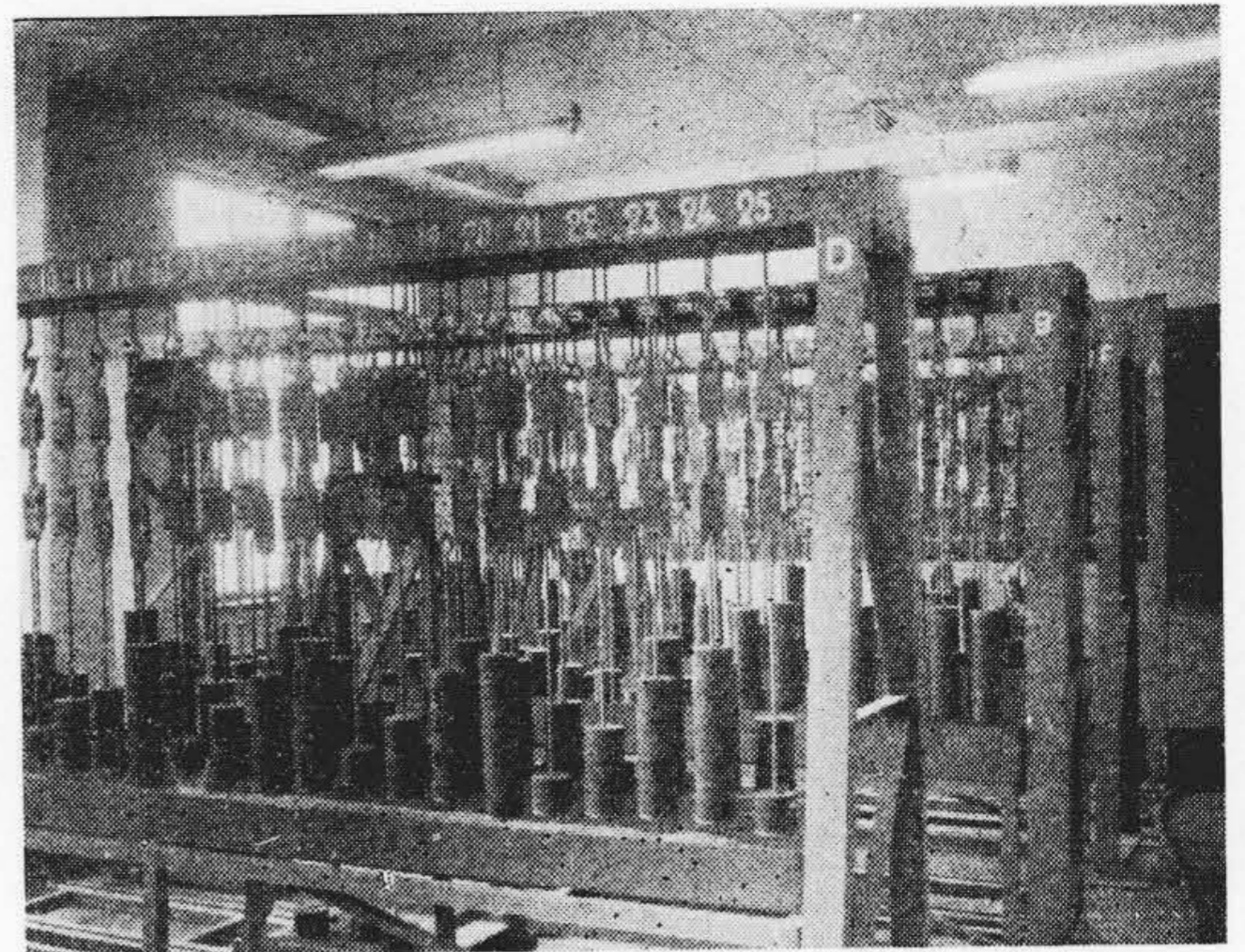
供試鉛被用合金としてはいわゆる更合金⁽¹⁹⁾ (Pb-Sn-Sb系合金) 4種および押出加工性を考えてPbに対する固溶度をほとんどもたない共晶型に属するPb-Te系合金3種、Pb-Zn-Cu系合金7種を用いた。第2表に分析結果を併記する。使用した添加用金属はすべて99.99%の高純度のものである。

試料の熔解にはエレマ炉を使用し、黒鉛るつぼを用いた。この際被覆剤、溶剤は全然使用しなかつた。鑄造温度はすべて450°Cとし、20 mm×50 mm×150 mmの100°Cに予熱した金型に鑄造した。鑄塊をロールにより90%加工して2 mm厚の板材とし、これより第1図に示すような長時間用クリープ試験片を打ち抜いた。また抗張力ならびに短時間用クリープ破断試験用としては2 mm厚の板材をさらに1 mm厚まで冷間圧延(加工度95%)してこれより第2図に示すような試験片を打ち抜いた。

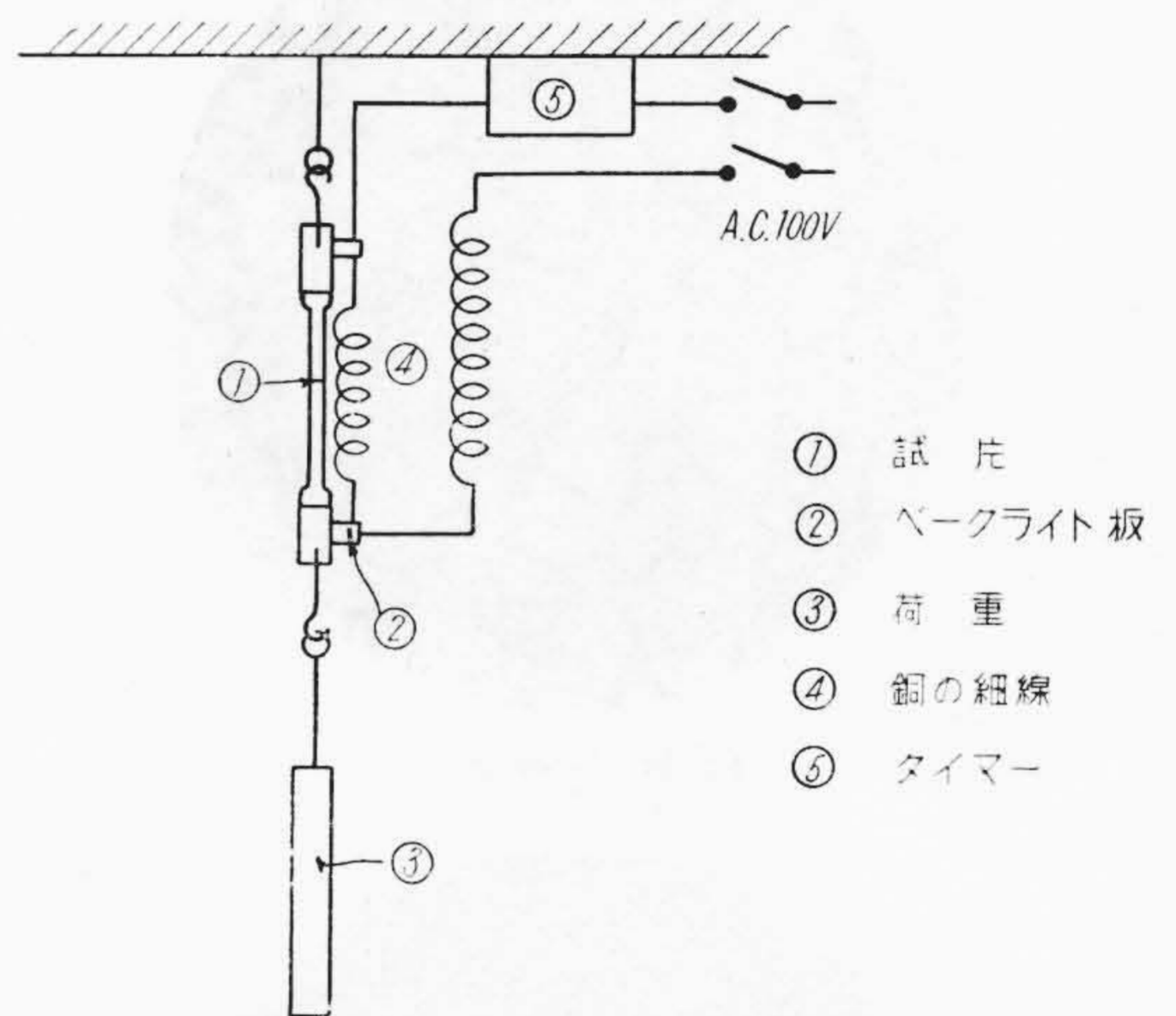
試験片は加工の影響をできるだけさげさせるため1週間常温に放置した後実験に供した。

(2) 実験方法

第3図はクリープ試験装置の一部を示す。この図よりわかるように試片に一定荷重を加え、標点間の伸びを読取顕微鏡(読取精度: 1/100mm)で測定した。測定は1年8箇月にわたっているので室温の変化は16.4°Cから



第3図 クリープ試験装置



第4図 クリープ破断試験装置説明図

31°Cにわたっており年間平均温度は19°Cである。測定は試験開始時より1箇月間は毎日行い、2箇月目より3日間隔、3箇月目より週1回行つた。

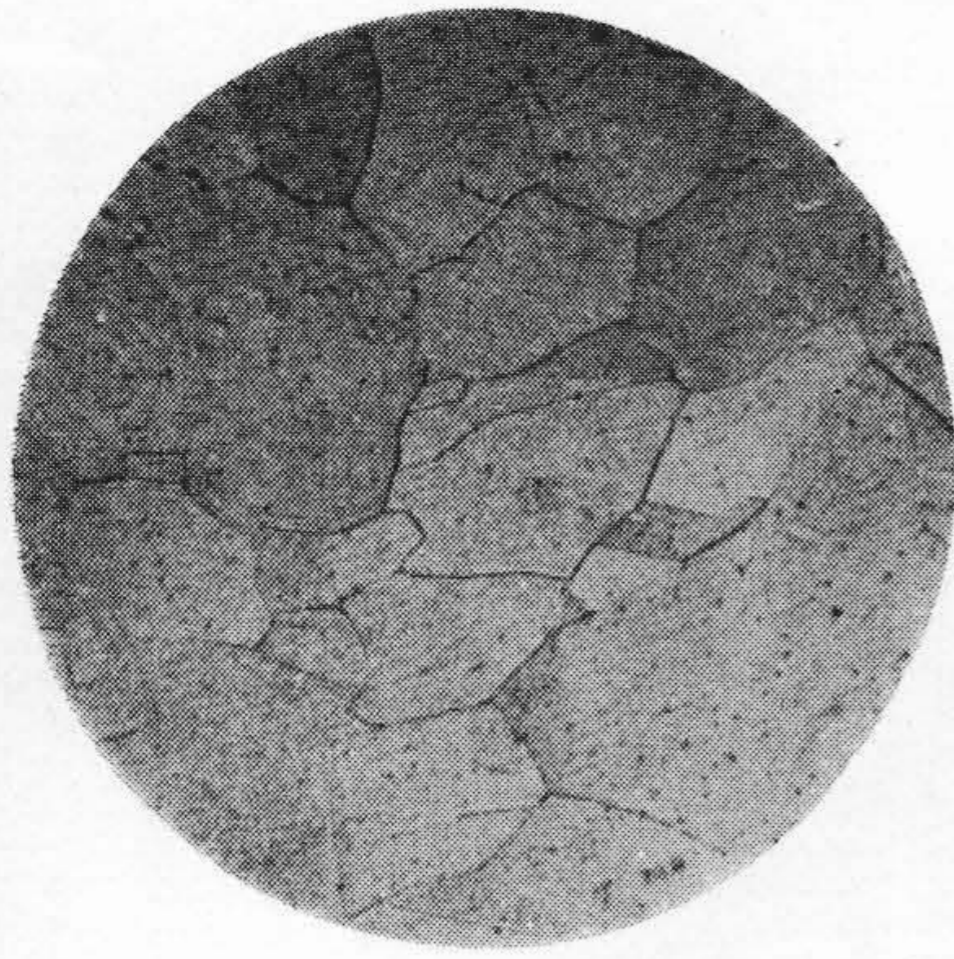
第4図はクリープ破断試験装置の説明図で、試片が破断すれば④に示した0.1 mmφの銅線が断線しタイマー⑤が停止するようにした。第3図にその一部が望見される。

常温(22°C)ならびに70°Cにおける抗張力試験にはUF式恒温槽付引張試験機を用い、引張速度は5.5 mm/minとした。また硬度は、微小硬度計(荷重100 g, 荷重保持時間20秒)を用いた。

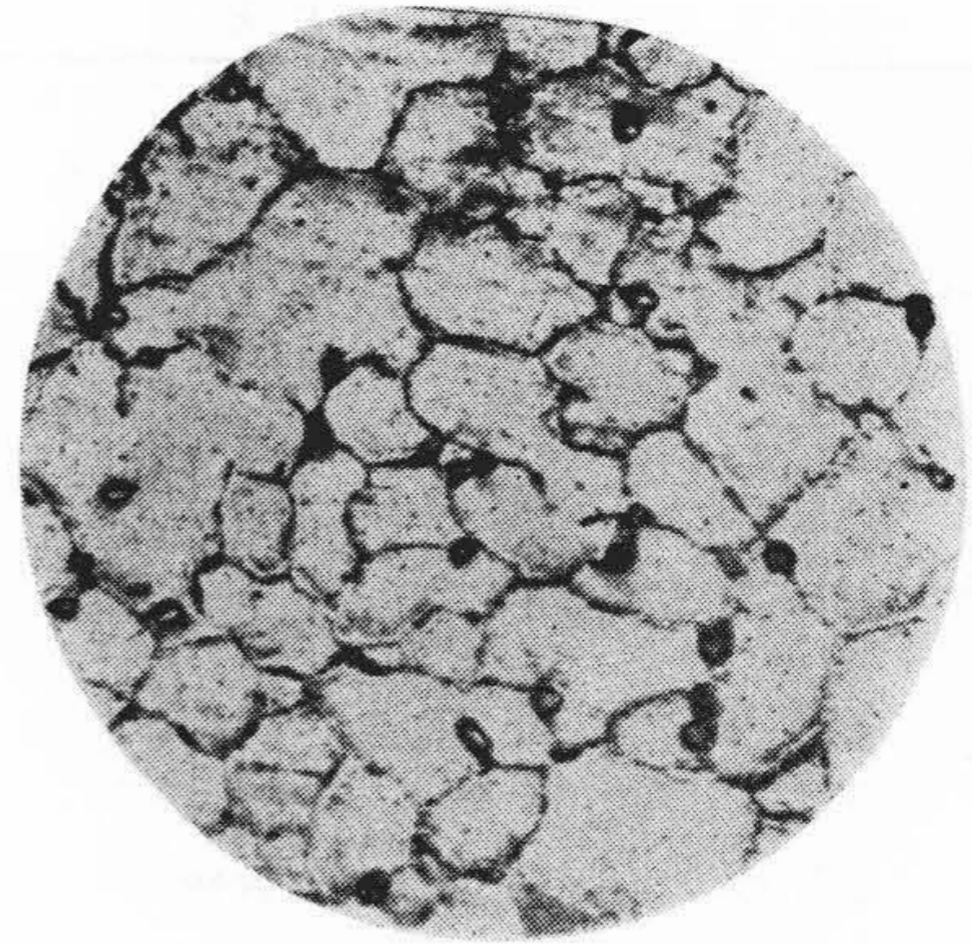
〔III〕 顕微鏡組織および機械的性質

(1) 顕微鏡組織

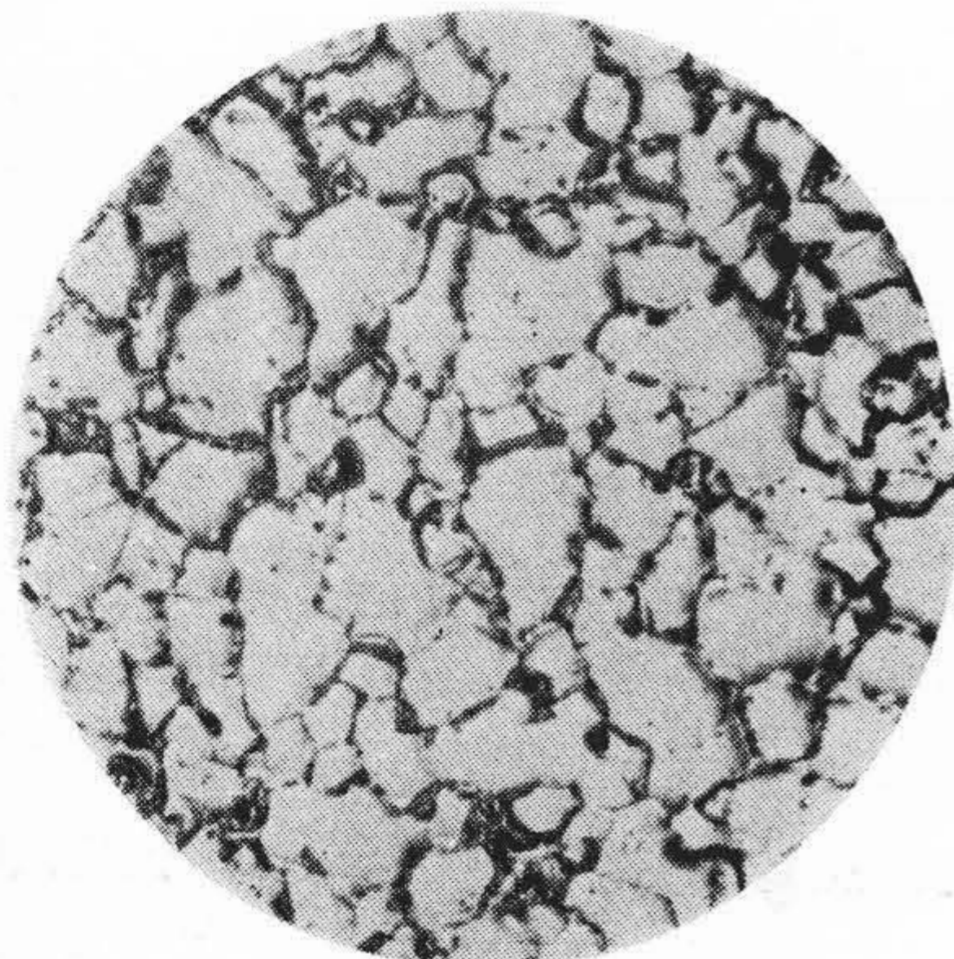
第5図は各供試材のクリープ試験前における顕微鏡組織を示す。研磨方法はわれわれの見出した方法⁽²⁰⁾に基づいた。純鉛の結晶粒はかなり大きいのがこれに他元素が入



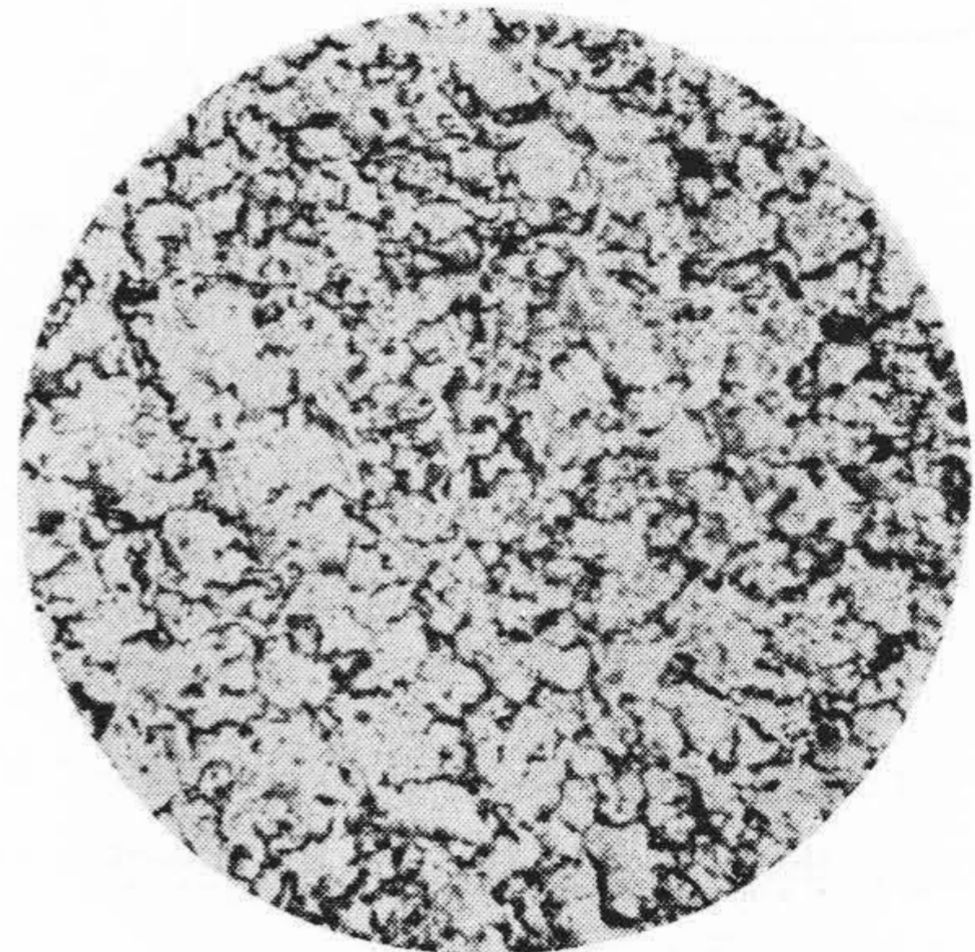
純鉛



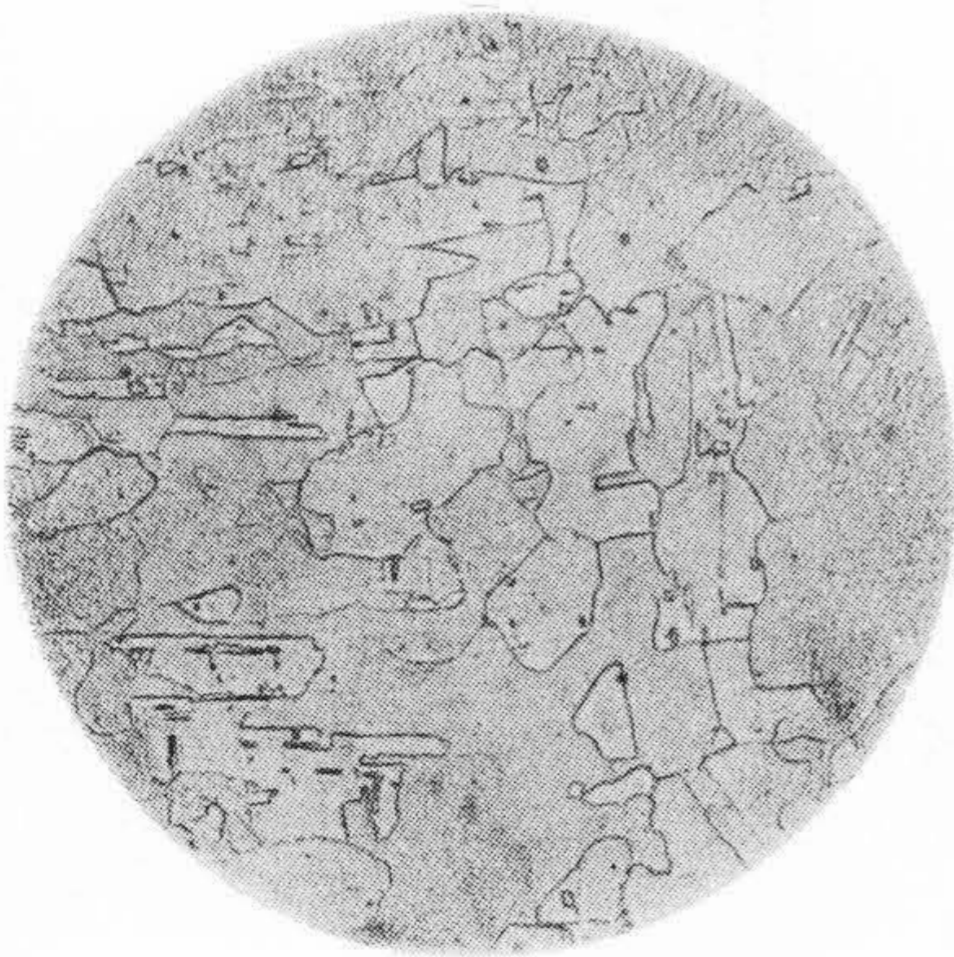
Pb-0.77% Sb 合金



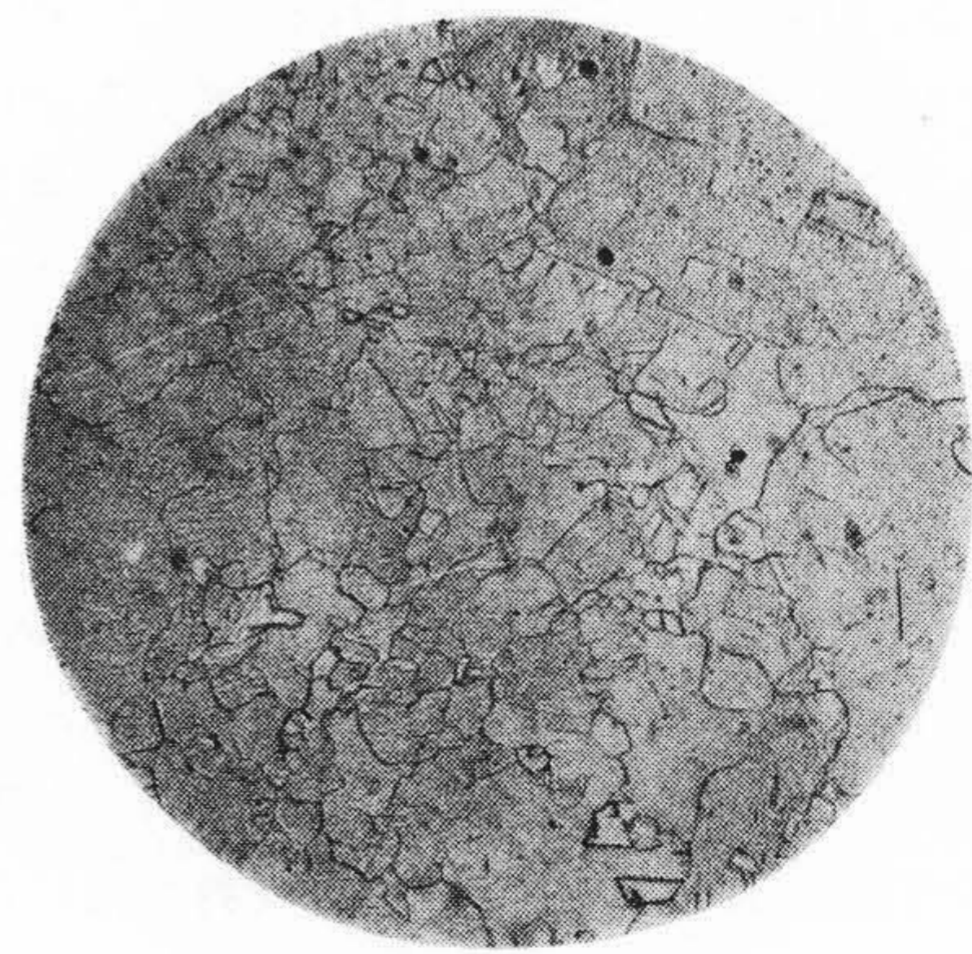
Pb-19.4% Sn 合金



Pb-0.32% Sb-1.32% Sn 合金



Pb-0.026% Te 合金



Pb-0.047% Te 合金

第5図 供試材の顕微鏡組織 (×100)

ると細くなり、Pb-0.047% Te 合金の場合最も著しい。また Sn, Sb を添加した合金では、粒内よりも粒界に析出相が多く認められる。また Cu を含む合金では結晶粒界とは無関係に圧延方向と平行な共晶らしい組織が層状に細かく分布している。

(2) 機械的性質

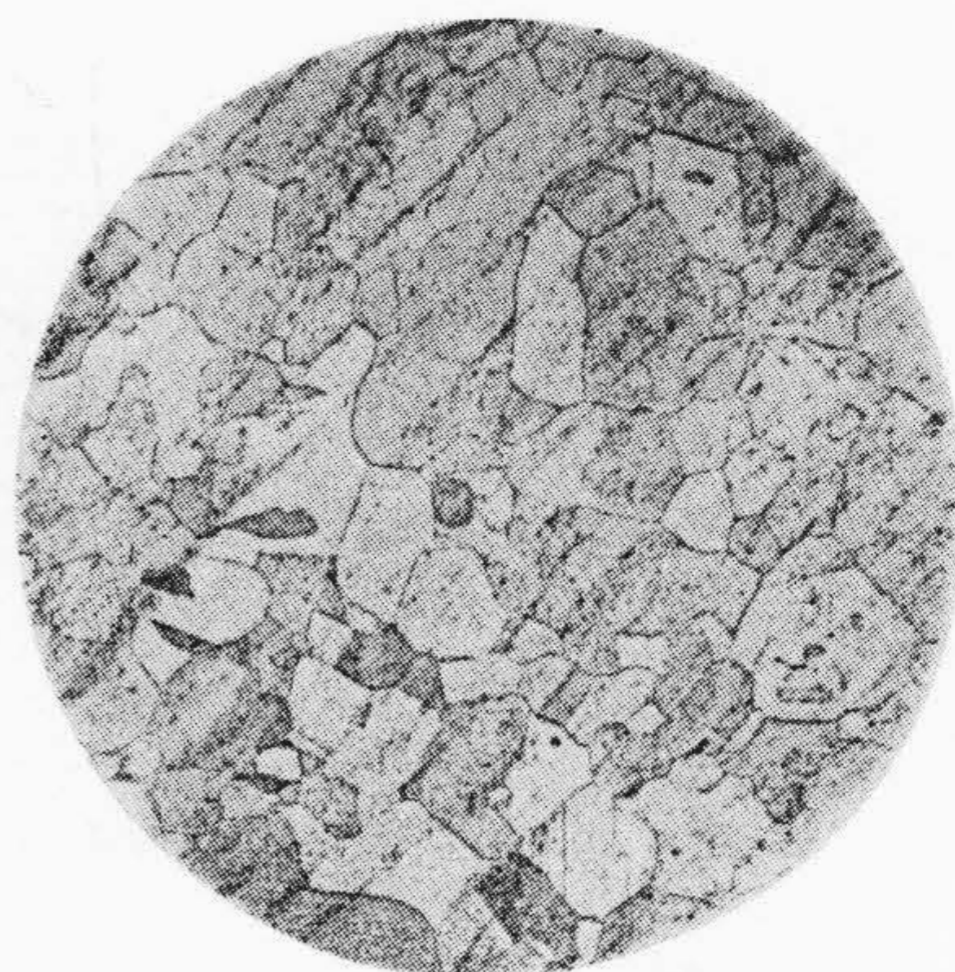
第2表は供試材の分析結果および機械的性質を示す。なお測定値はすべて3個の平均値であり、70°Cにおける

試験では、試験片をその温度に10分間保持した後試験を行つた。

抗張力は試番23 (Pb-0.047% Te) 合金が最も高く、試番14 (Pb-1.32% Sn-0.32% Sb) 合金、試番13 (Pb-0.77% Sb) 合金がこれについている。この傾向は70°Cにおいても同様であるが、70°Cと22°Cとの抗張力の差より温度上昇による抗張力の低下率を比較してみると、純鉛では36.6%となる。更合金では、24~28%、Pb-Zn-Cu



Pb-0.8% Zn-0.04% Cu 合金



Pb-0.56% Zn-0.023% Cu 合金

合金では大体26%, Pb-0.04% Cu合金では35%となる。またPb-Te合金ではTeの添加量の増加とともにその低下率は急激に減少し, Pb-0.047% Te合金では19.2%となる。

常温における伸びは更合金系が最も大きく, Pb-Zn-Cu系合金がこれにつき, Pb-Te合金は最も少ない。しかしながらPb-Te合金においてはTe 0.047%のものが, これよりTeの少ないものよりも伸びは大きいことは興味あることである。また70°Cにおける伸びは, 常温における場合よりも一般に低下するが, Pb-Te系合金ではほぼ常温と同等の伸びを示す。Pb-Zn-Cu系合金では, Znが0.5%以上になると, Pb-Te系合金と同様な結果を示すことがわかる。

第2表 供試材の分析結果

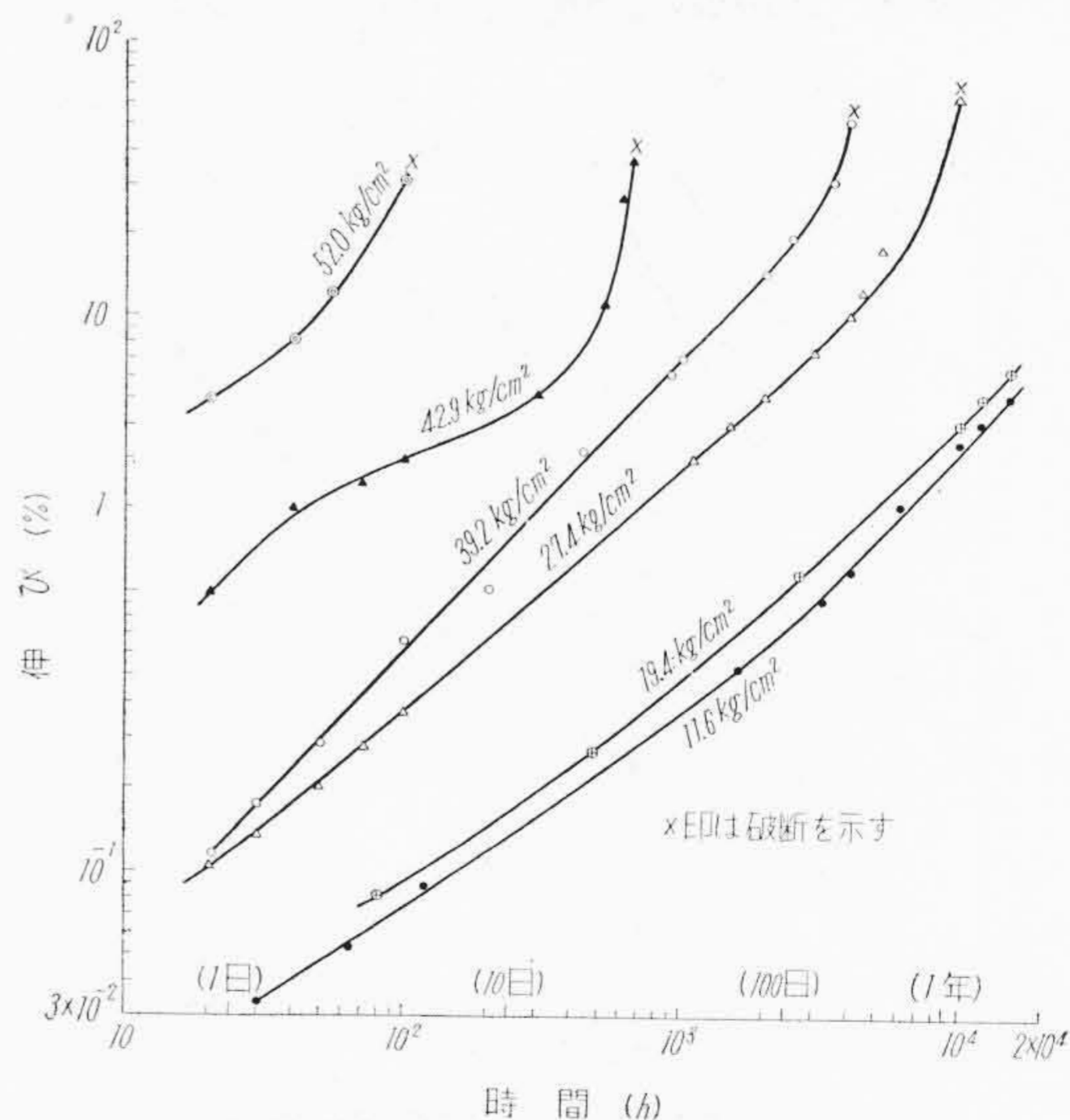
種類	試番	分析結果 (%)					抗張力 (kg/cm ²)		伸び (%)		硬度
		Sn	Sb	Te	Zn	Cu	室温 (22°C)	70°C	室温 (22°C)	70°C	
純鉛	0	—	—	—	—	—	148.3	89.0	45.5	31.0	4.1
更合金	11	1.94	—	—	—	—	230.0	175.1	49.0	30.0	7.2
	12	—	0.45	—	—	—	234.6	174.1	49.4	34.4	6.9
	13	—	0.77	—	—	—	241.0	182.0	48.6	33.4	7.3
	14	1.32	0.32	—	—	—	250.1	180.1	50.0	37.4	7.6
Pb-Te合金	21	—	—	0.026	—	—	211.0	150.0	12.5	11.0	5.9
	22	—	—	0.031	—	—	214.0	151.5	12.7	11.0	6.0
	23	—	—	0.047	—	—	260.0	210.0	18.0	18.2	10.0
Pb-Zn-Cu合金	31	—	—	—	0.7	—	206.0	150.0	28.1	25.2	7.1
	32	—	—	—	—	0.044	165.2	107.1	35.0	25.0	5.2
	33	—	—	—	0.12	0.035	189.1	134.1	34.7	29.5	6.4
	34	—	—	—	0.21	0.062	171.5	117.5	28.5	27.1	7.0
	35	—	—	—	0.47	0.033	210.4	154.7	29.2	25.1	7.1
	36	—	—	—	0.54	0.057	209.6	154.1	28.0	26.1	7.1
	37	—	—	—	0.56	0.023	208.1	153.5	26.4	28.0	7.1
	38	—	—	—	0.68	0.012	208.0	154.1	25.0	27.1	7.1

〔IV〕 供試合金のクリープ

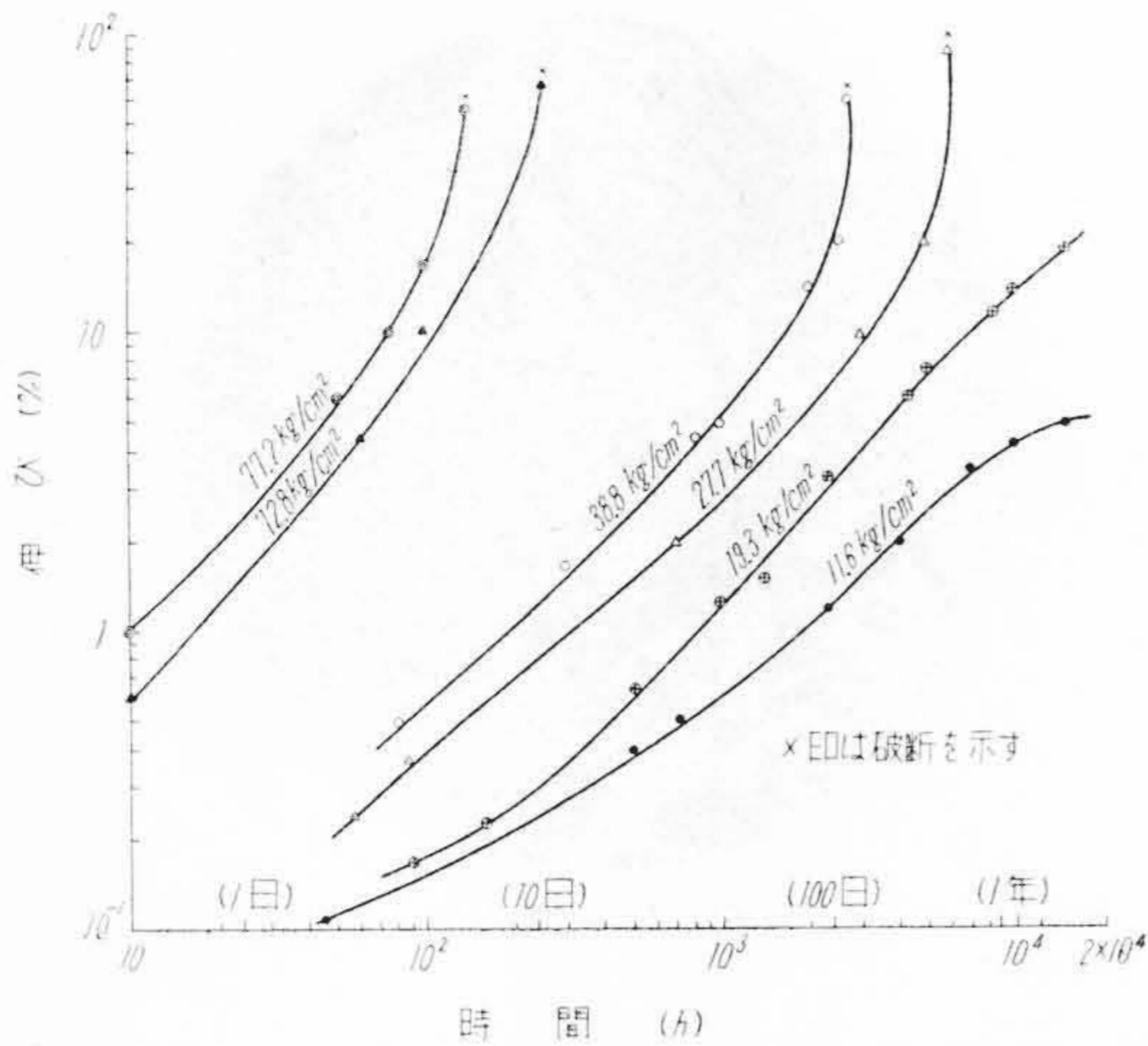
引張り応力 11~77 kg/cm² の範囲における定荷重クリープ試験を約1年8箇月にわたり行つたので, 得られた伸び-時間曲線を各供試合金系について述べる。データの整理は, 高荷重と低荷重のクリープを1枚の図にまとめる関係上両対数線図を用いた。なお低荷重クリープは現在も実験続行中であることを付記する。

(1) 純鉛, 更合金のクリープ

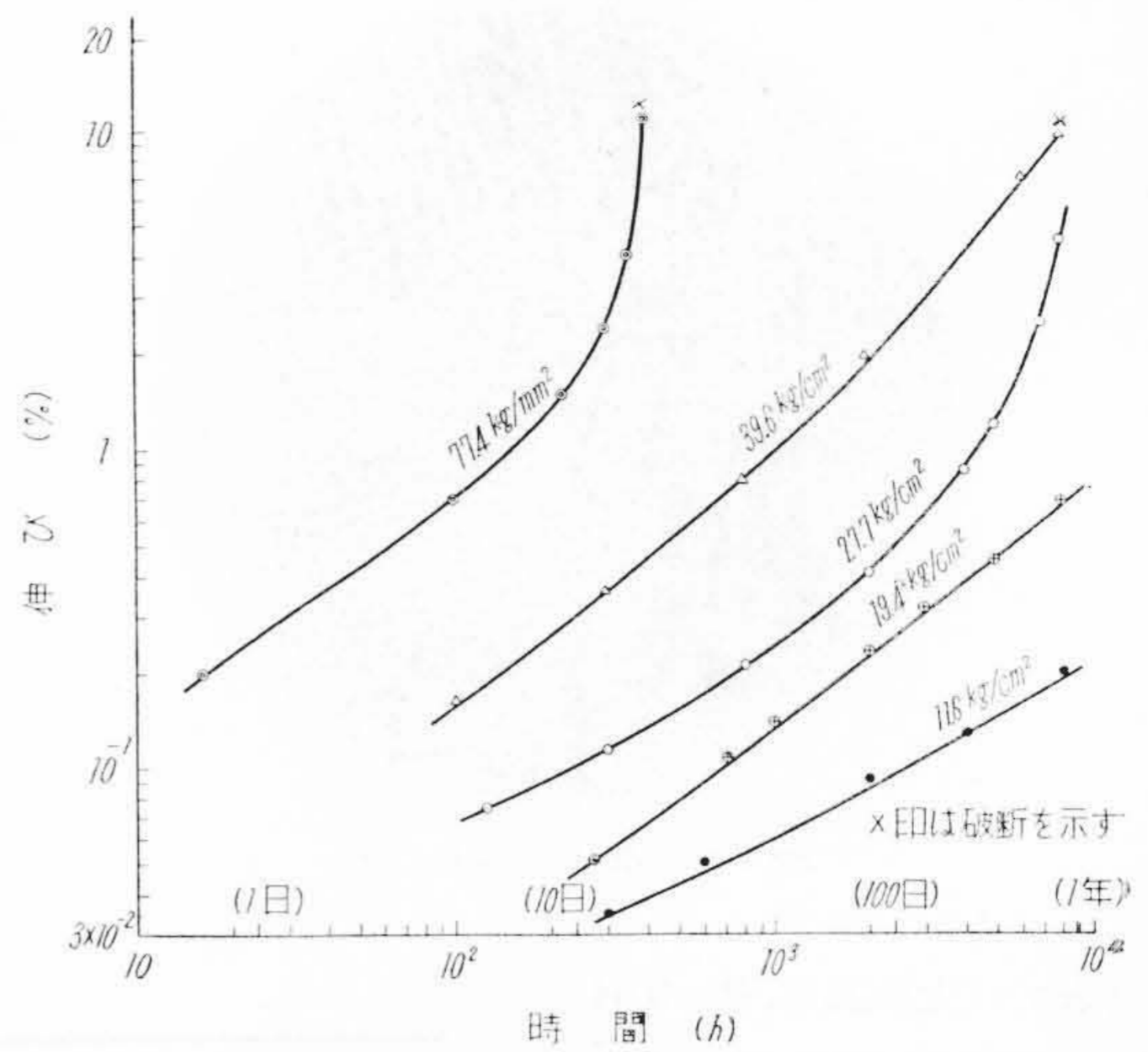
第6図は純鉛のクリープ実験結果を示し, 第7~9図は更合金系供試材についての実験結果を示す。クリープの初期段階は, 実験誤差も多く, 実際上も低荷重ではその量が小さいのであまり問題とはならない。したがってこれらの図では低荷重クリープの場合は大体10時間以



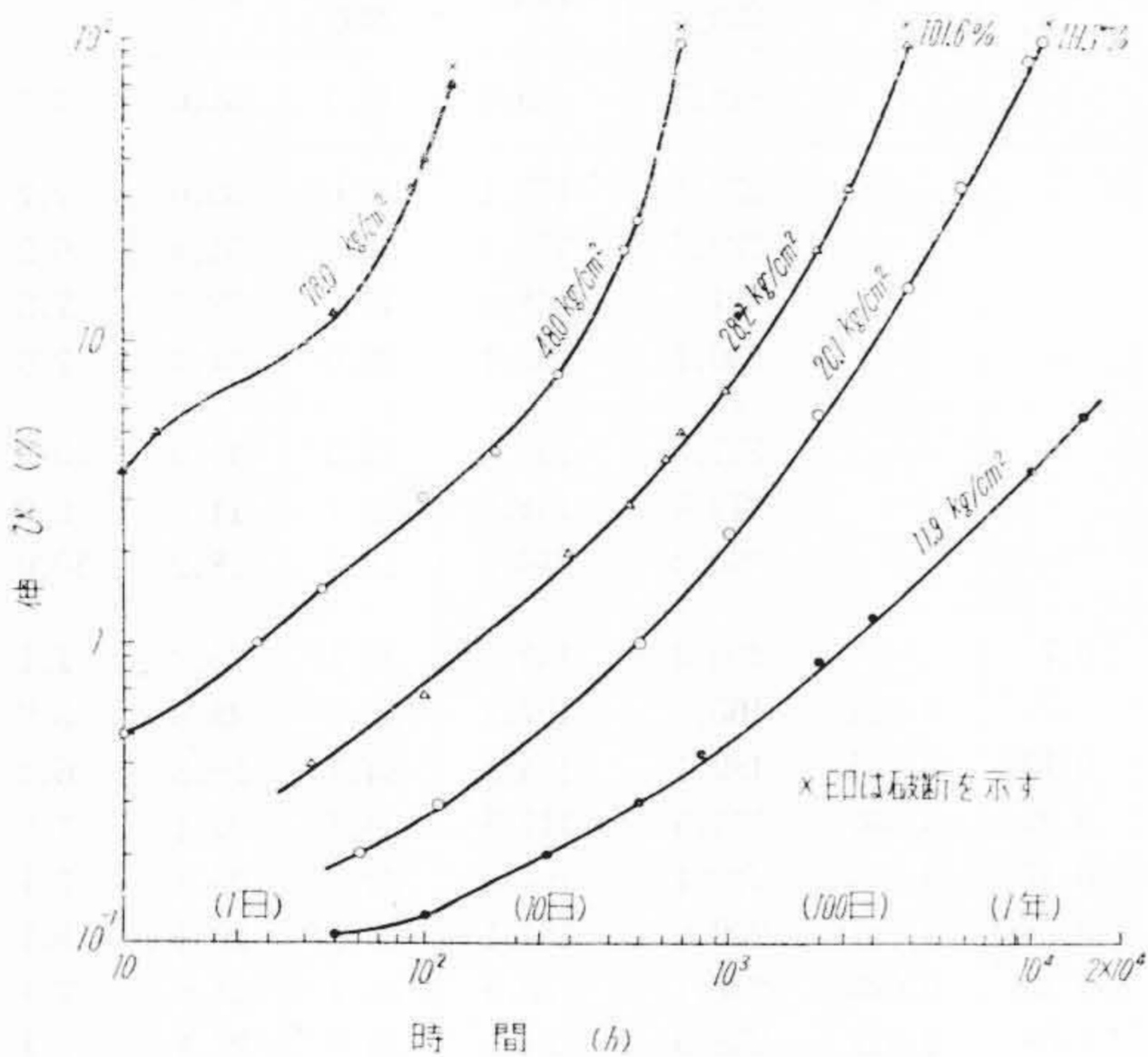
第6図 純鉛のクリープ曲線



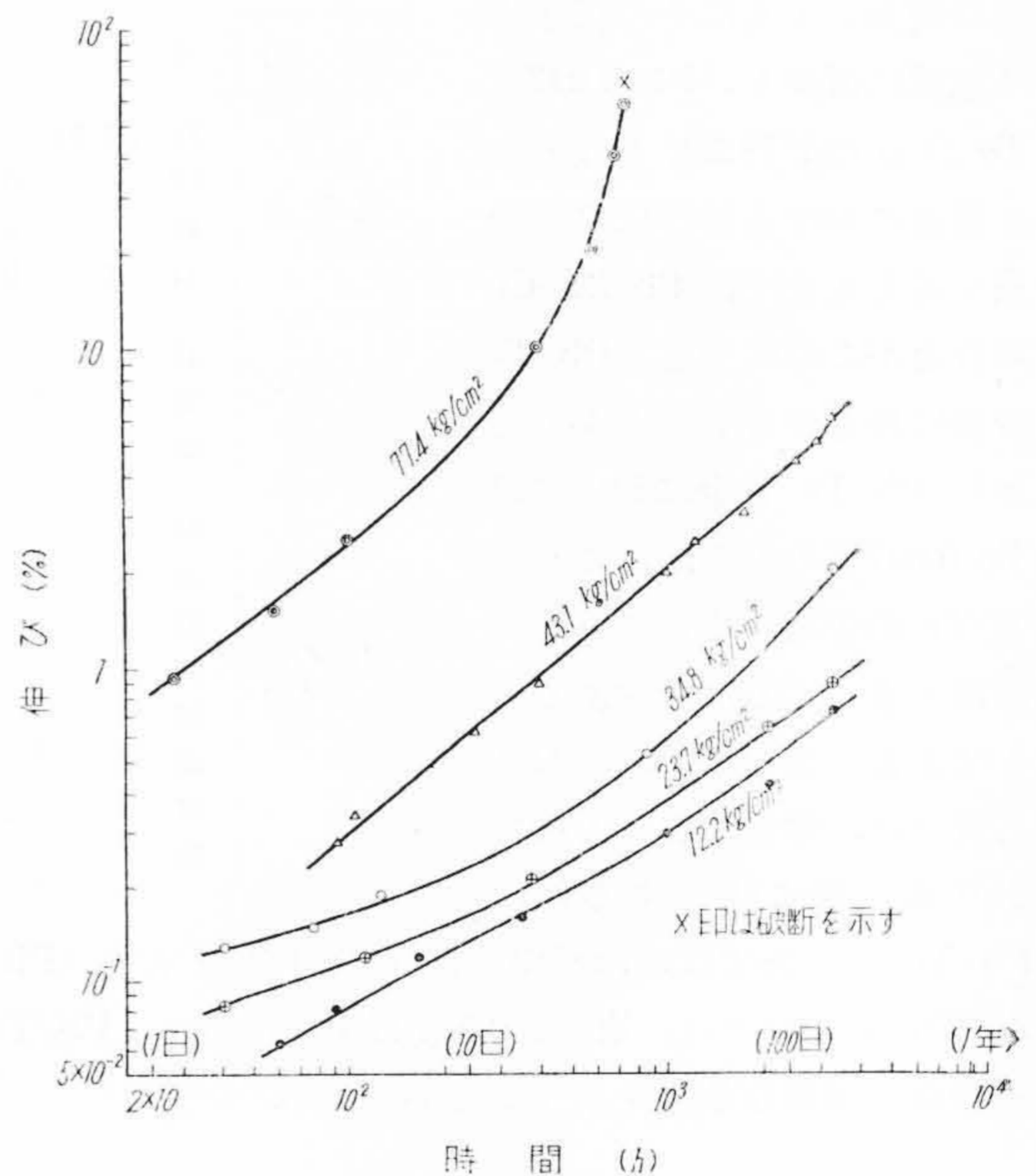
第7図 Pb-1.94% Sn 合金のクリープ曲線



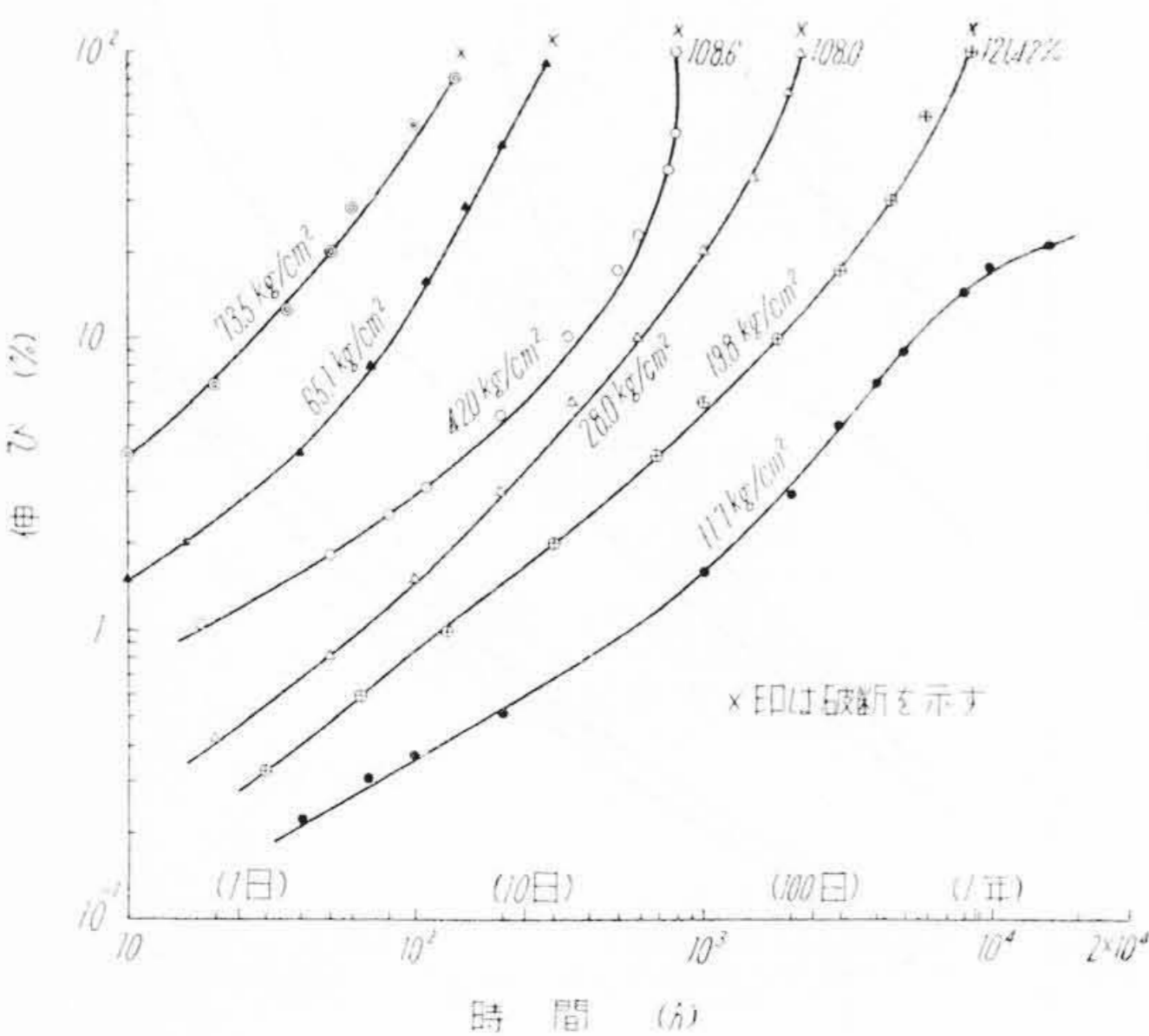
第10図 Pb-0.047% Te 合金のクリープ曲線



第8図 Pb-0.77% Sb 合金のクリープ曲線



第11図 Pb-0.7% Zn 合金のクリープ曲線



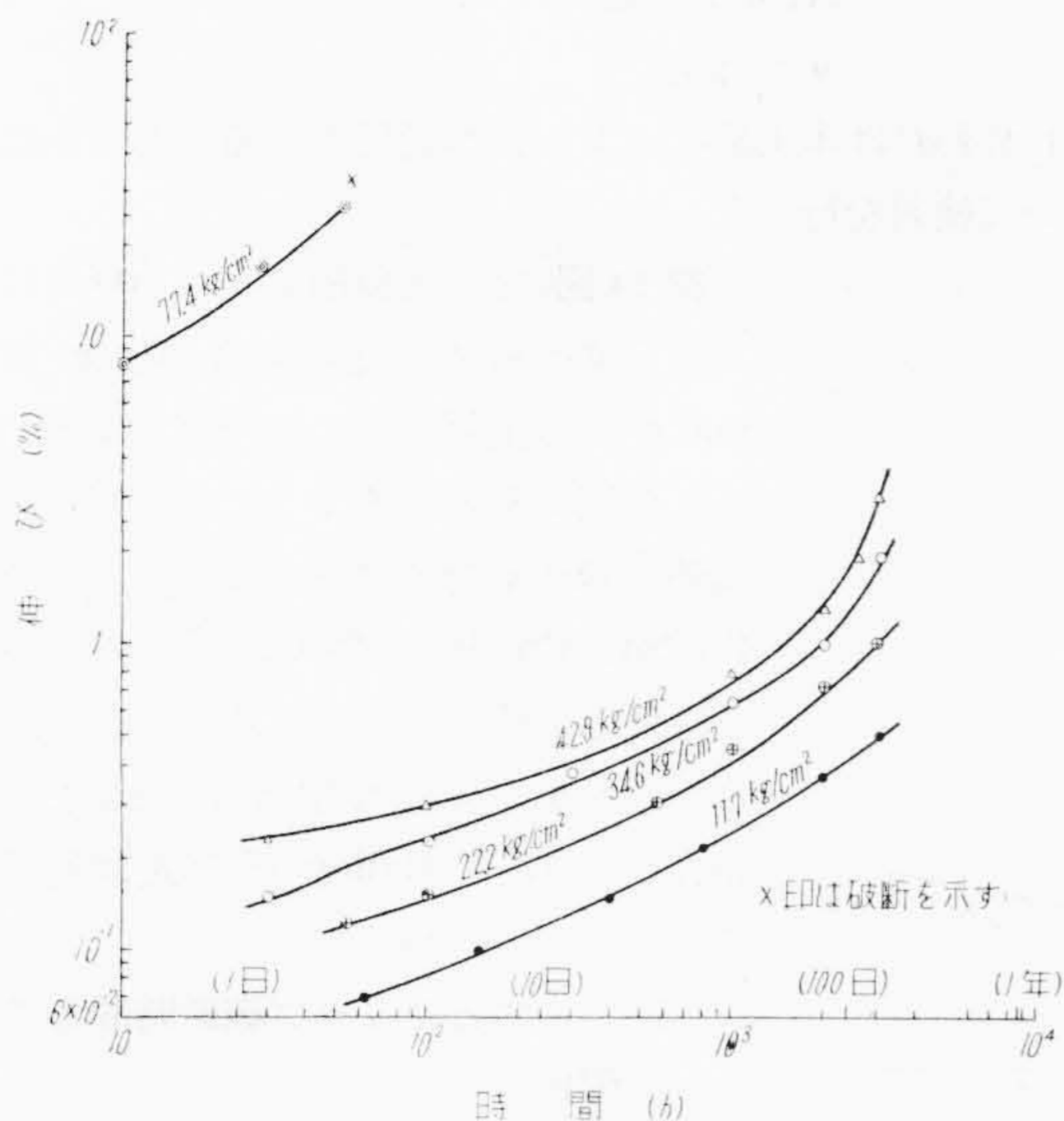
第9図 Pb-0.32% Sb-1.32% Sn 合金のクリープ曲線

後のデータを示した。

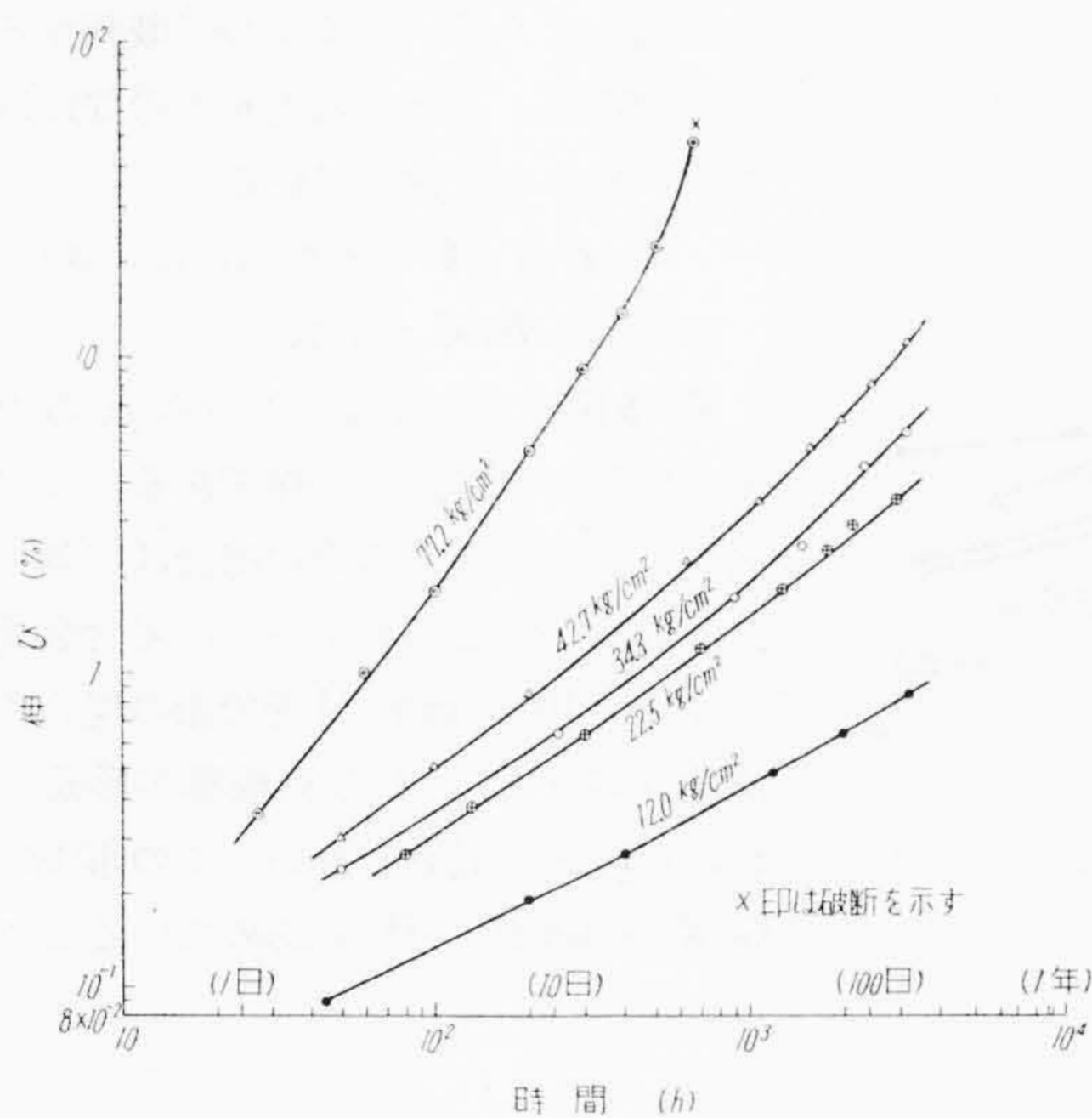
純鉛の場合低応力のものは、第6図に示すように曲線はほぼ直線的である。42.9 kg/cm²以上の応力では、第1, 2, 3期のクリープが明瞭に認められる。更合金では関係曲線はやや上方に曲つていくことがわかる。また 27 kg/cm² 付近の応力の場合の関係曲線では、純鉛の場合ほどはつきりした第3期クリープを示さない。

(2) Pb-Te 系合金のクリープ

第10図は、Pb-Te 系合金のクリープ実験結果の一例を示す。関係曲線は若干上方に曲つていくが、Te が多



第12図 Pb-0.044% Cu 合金のクリープ曲線



第13図 Pb-0.54% Zn-0.057% Cu 合金の
クリープ曲線

くなると近似的に直線となることがわかる。しかしながら Te 含有量の増加とともに高応力における破断時の伸びは低下する。Pb-0.047% Te 合金では高応力におけるクリープ破断時間はきわめて長い。

(3) Pb-Zn-Cu 系合金のクリープ

第11~13図は、Pb-Zn-Cu 系合金のクリープ実験結果の一例を示す。関係曲線の形状は、いずれも大差ないが、Cu 含有量が多いものは直線的であるようである。Pb-Zn 合金と Pb-Cu 合金の耐クリープ性を比べてみると高応力では前者が、低応力では後者がすぐれているようである。

〔V〕 実験結果に対する考察

上述の実験結果を整理するにあたり、第一にクリープ曲線の形状について検討し、次にクリープ速度と応力、応力とクリープ破断時間、クリープ破断したときの伸びなどについてデータを求め、最後に金属組織上からの考察を加えることとする。

(1) クリープ曲線の検討

実際にケーブル鉛被でクリープが問題となるのは、低応力の場合であり、したがってクリープ曲線上検討を要するのは瞬間ひずみ、遷移クリープ (Transient Creep) の段階ではなく定常クリープ (Steady Creep) である。定常クリープは擬粘性流水 (Quasi-Viscous Flow) とも呼ばれ、外見上は非常に簡単な形を示すものであるが実はきわめて複雑な現象であつて、理論的説明はまだ不完全な状態である。しかしながらクリープ曲線そのものについては、種々の実験式が提案されている。

多くの純金属についての実験結果から E. N. Andrade 氏⁽²¹⁾ は、彼が行つたすべての温度、応力で次式がクリープ曲線を示すのに適當であると述べている。

$$l = l_0 (1 + \beta t^{1/3}) \exp(kt) \dots\dots\dots (1)$$

- ただし l : t 時間後の試片の長さ
- l_0 : 試片の長さにはほぼ等しい恒数
- β, k : 恒数

L. M. T. Hopkin 氏⁽¹¹⁾ は、純鉛ならびに Pb-1% Sn 合金のクリープ曲線について (1) 式および (1) 式の $t^{1/3}$ を $\log t$ で置き換えたいわゆる対数式の適否について種々検討を行い、短時間 (300時間まで) クリープの説明には両者とも大体十分であるが、5,000時間までの比較的長時間のクリープに対しては前者 ((1)式) が適當であることを述べている。われわれは (1) 式により L. M. T. Hopkin 氏が行つたのとまったく同様な計算を行つてみたが、純鉛で 3,000時間ぐらいまでは一応同じ程度の β および k の値を求めることができるが、それ以上の時間のクリープでは β および k が著しく大きくなる。そのほかの合金でも大体同じような傾向が認められた。したがって (1) 式は長時間のクリープ曲線を表わすには適當でないことがわかつた。またひずみの対数と時間の対数の関係が無酸素銅の場合短時間クリープでは近似的に直線とみなすことができるが⁽²²⁾、本実験結果では一般的とはいえず、特に長時間の場合上記の関係は成立しない。そのため本実験結果から得られた関係曲線より外挿法により長時間後のひずみを推定することはなかなか困難であり、なお長期間の実験データを集積して結論を求める予定である。

(2) クリープ速度と応力との関係

クリープ速度と応力との関係は非常に重要であり、一

定温度では両者の間に次式が成立つことを R. W. Bailey 氏⁽²³⁾は認めている。

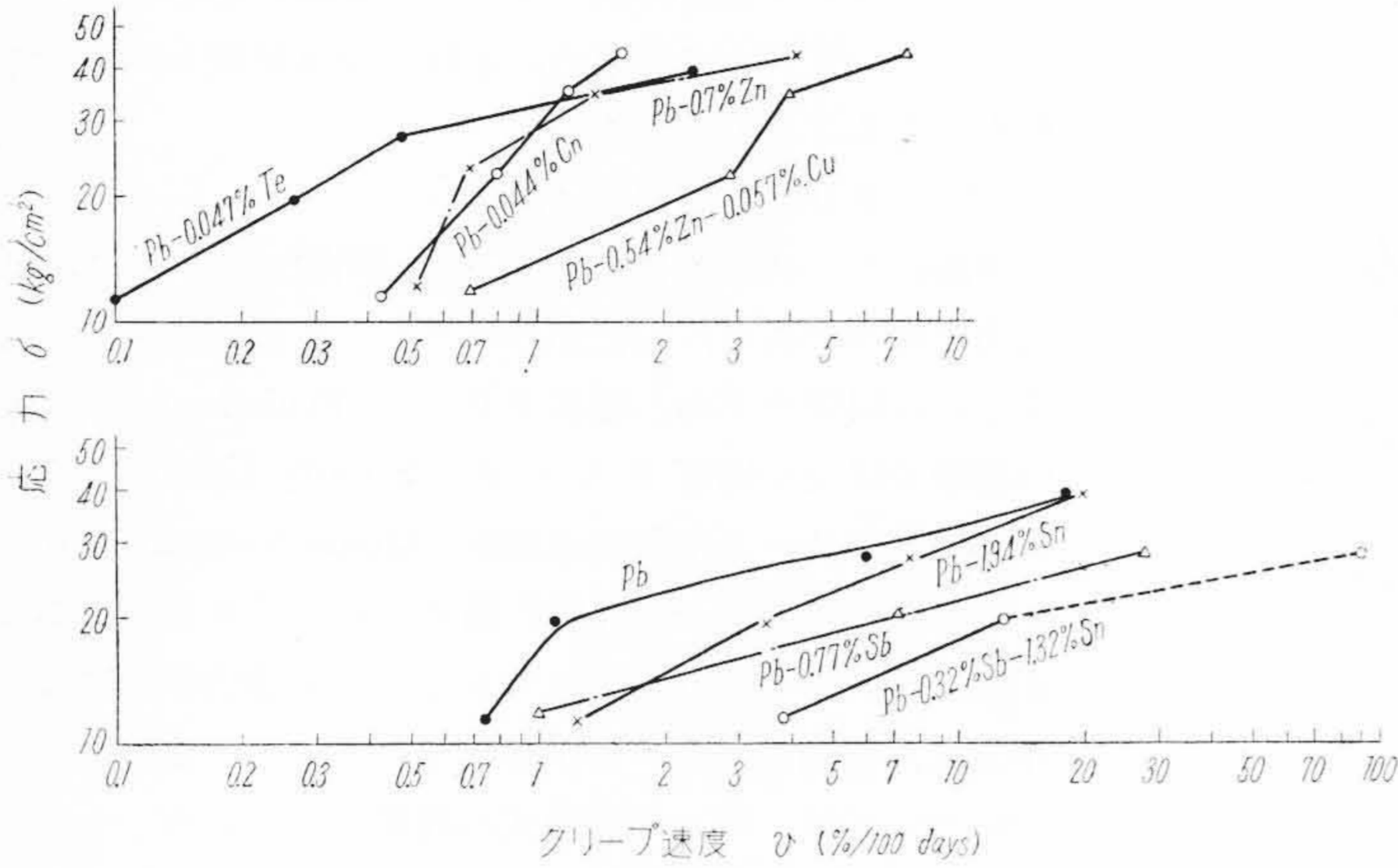
$$v = A\sigma^n \dots\dots\dots (2)$$

ただし v : クリープ速度

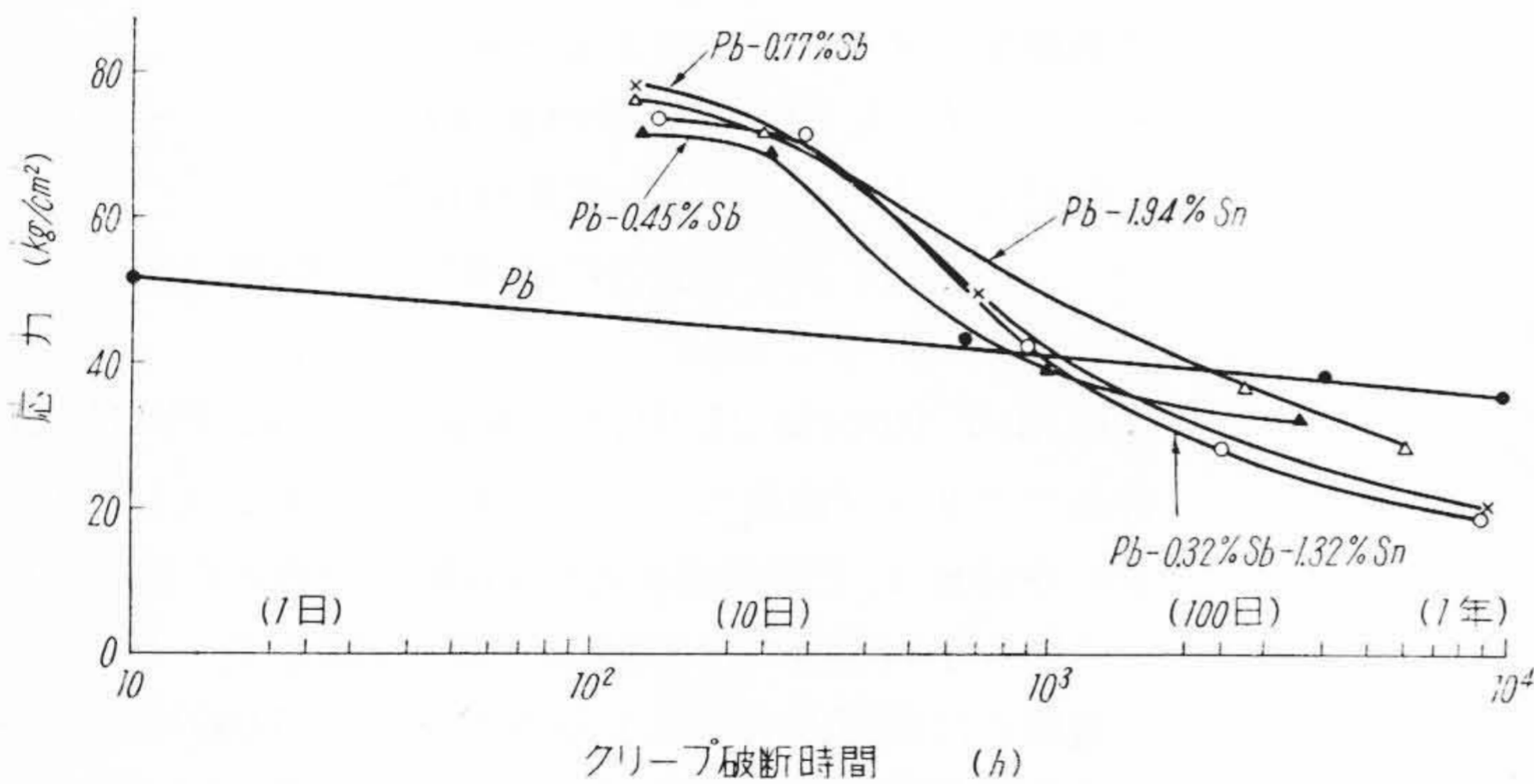
A, n : 恒数

σ : 応力

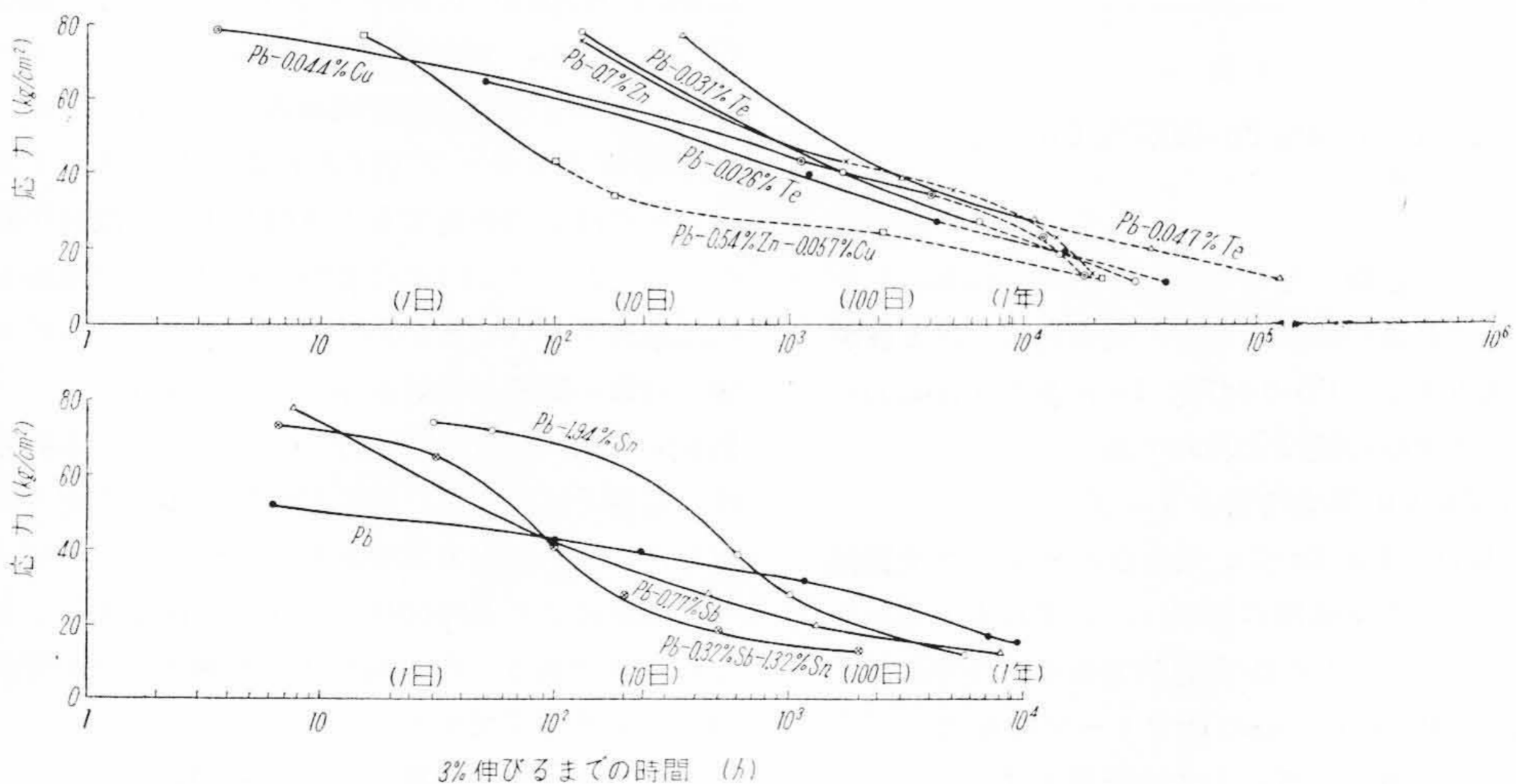
われわれは本実験に (2) 式が適用できるかどうかについて検討を行った。



第 14 図 クリープ速度に及ぼす応力の影響



第 15 図 クリープ破断時間に及ぼす応力の影響



第 16 図 3%伸びるまでの時間と応力との関係

第 14 図は、本実験結果より 100 日におけるクリープ速度の対数 $\log v$ と $\log \sigma$ との関係を示した一例である。

この図よりわかるようにほぼ直線関係を示すものもあるが、(たとえば Pb-Sn, Pb-Sb, Pb-Cu 系合金) 多くは低応力側で曲つてくるのがわかる。したがって低応力では、鉛および鉛合金は R. W. Bailey 氏の式は適用できないことがわかった。

(3) 応力とクリープ破断時間との関係

H. F. Moore 氏ら⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾は、鉛のクリープに関する実験結果から、一定応力のもとでクリープによつて破断するまでの時間 t とその応力 σ との間には次式が成立つと述べている。

$$\sigma = B(1 - C \log t) \dots\dots\dots (3)$$

ただし B, C : 恒数

第 15 図は本実験結果から求めた $\log t$ と σ との関係曲線である。この図からわかるように鉛の場合は (3) 式が成立つことがわかるが、更合金系では $\sigma = 40 \text{ kg/cm}^2$ 付近で鉛の場合の関係直線と交叉する曲線群が形成され、(3) 式は成立しない。この事実は G. R. Gohn 氏ら⁽²⁴⁾も認めているとこ

ろである。しかしながら第15図から低応力では純鉛の破断時間は、更合金よりも長く、高応力ではその逆となることがわかる。ほかの合金は破断している数が少ないので比較することはできなかつた。そこで許容クリープひずみ (Permissible Creep Strain) を3%と仮定してみると、3%の伸びを生ずる時間と応力との関係は、第16図のようになる。図中点線で示した部分は推定によるものであり、いささか強引なきらいがある。

鉛、更合金については曲線の傾向は第15図と大体同じである。Pb-Cu合金は高応力では、ほぼ直線関係が成立つが低応力側では曲線はやや下向きになるようである。Pb-Zn合金もこれと同じようだが、Pb-Zn-Cu系合金(試番36合金)では若干様相が異なり、低応力側で時間軸に対する傾斜は前二者よりもゆるやかとなる。Pb-Te系合金では、Pb-Zn-Cu系合金といくぶん似た傾向を示す。この関係曲線より40年間に3%の伸びを

生ずる応力も求められる訳であるが、低応力側では推定が多いので点線が実線で示される後日に譲り、ここでは冒険しないこととする。

(4) クリープ破断応力、破断時間と破断時の伸びとの関係

第17図はクリープ破断応力と破断時の伸びとの関係を示す。この図より破断時において更合金の伸びは、鉛の伸びよりも大きいことがわかる。またいずれの合金も破断応力が大きくなるほど伸びは減少する。

第18図はクリープ破断時間と破断時の伸びとの関係を示す。この図より破断時間が長くなるにしたがって伸びも増大するが、その傾向は必ずしも直線的ではない。また鉛はいずれの破断時間においても伸びが最も小さく、Pb-0.32% Sb-1.32% Sn合金の半分以下の値である。

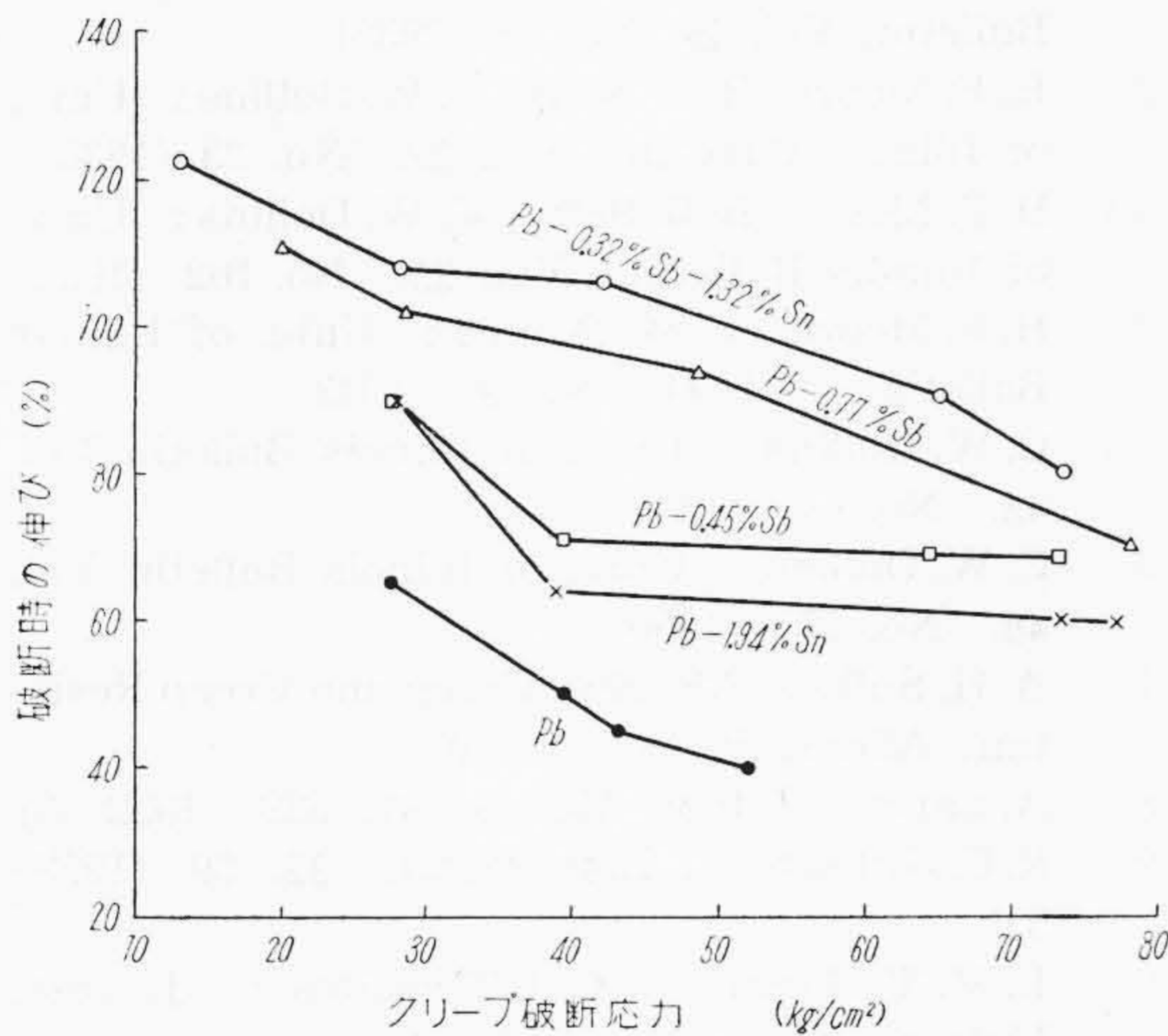
(5) 金属組織上からの考察

クリープ現象を研究する上に物理的裏づけも重要であるが⁽²⁵⁾、クリープ過程特に定常クリープにおける金属組織学的研究もまたきわめて大切である。クリープに影響を及ぼす金相学的因子としては、結晶粒度、結晶回復、再結晶、加工履歴、固溶度、相変化、析出粒子ならびに析出硬化などが考えられ、これらについて種々の研究が行われている⁽⁷⁾⁽¹³⁾⁽²⁶⁾。

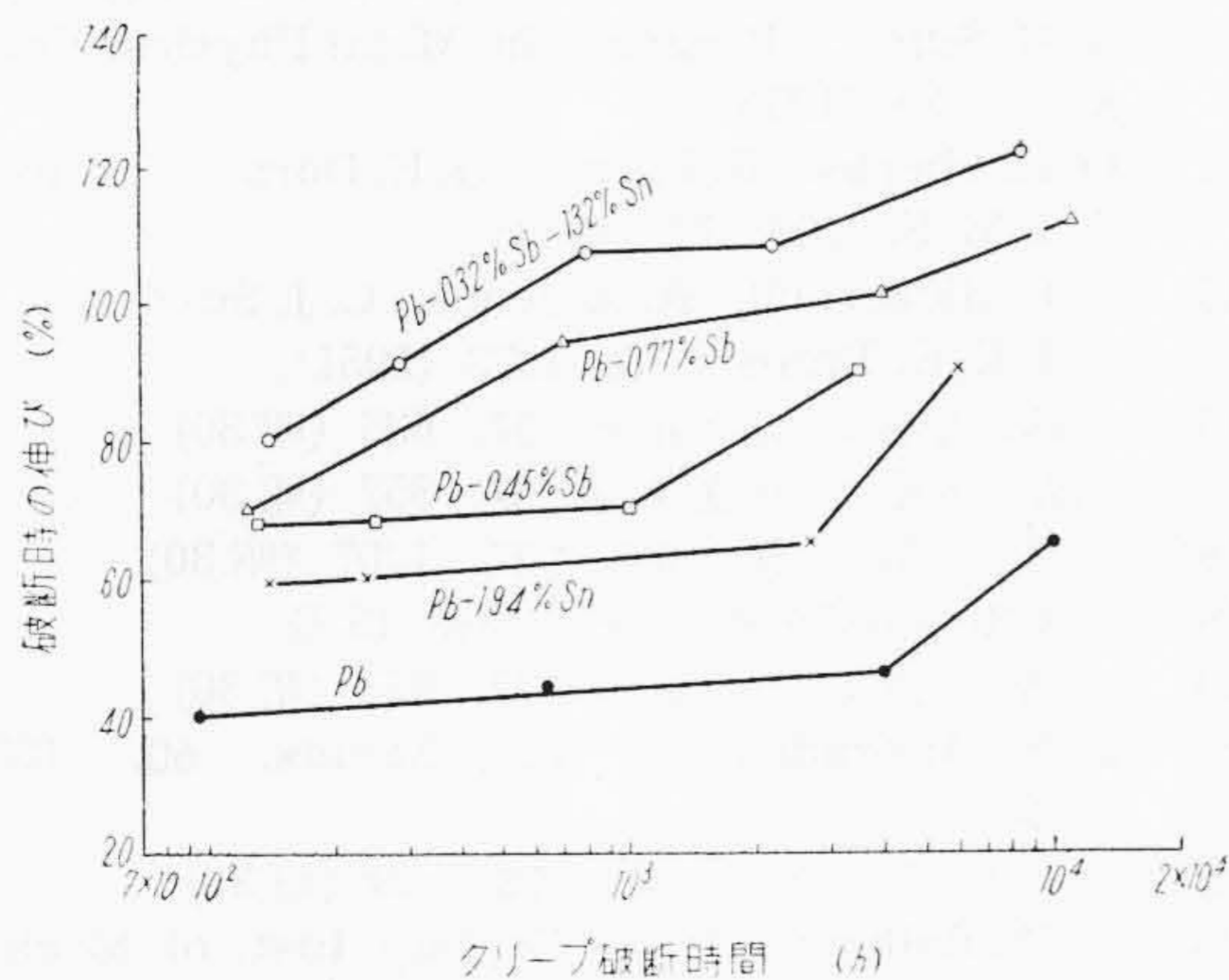
ひるがえつてわれわれの場合すなわちケーブル鉛被用合金のクリープを研究する場合、最も問題となつてくるのは加工履歴、結晶粒度、析出物などである。本実験では加工し常温軟化させた材料を使用しているが、ケーブル鉛被より切り取つて試験した場合と比べると、クリープ曲線は若干違つてくる。これは第1期クリープおよび結晶粒度の差異、析出などに基くものである。

第2期クリープで最も問題となるのは、結晶粒界の流れである。結晶粒度そのほか多くの因子も必然的にこの問題に帰着してくる。

第3表は供試合金の平均の結晶粒の大きさならびにクリープによるその変化の一例を示す。この表よりわかる



第17図 クリープ破断応力と破断時の伸びとの関係



第18図 クリープ破断時間と破断時の伸びとの関係

第3表 供試材のクリープによる結晶粒度の変化

種類	試番	結晶粒の大きさ (mm)			
		クリープ前	高荷重クリープ破断後	中荷重クリープ破断後	中荷重クリープ破断後
純鉛	0	0.124	(77.2) 0.20	(27.4) 0.25	
	11	0.050	(77.2) 0.051	(27.68) 0.050	
更合金	12	0.071	—	—	—
	13	0.073	(78.1) 0.064	—	—
	14	0.027	(73.5) 0.031	(28.0) 0.029	
Pb-Te合金	21	0.064	(77.4) 0.061	(39.5) 0.060	
	22	0.041	(77.4) 0.049	(39.32) 0.045	
	23	0.027	(77.4) 0.028	(39.60) 0.027	

注：()内は応力 (kg/cm²) を示す。

ように純鉛はクリープにより結晶成長するが、ほかの合金ではその傾向があまり見当らない。しかも第17, 18図に示すように純鉛が最も伸びが小さいという事実は、更合金の粒界流れは純鉛に比べて大きいことによるためである。Pb-Zn-Cu系, Pb-Te系合金のように共晶組成に近く、添加元素が鉛に対してほとんど固溶しない合金では⁽²⁷⁾、更合金のような結晶粒界における析出物は考えられず、純鉛の粒界に近いものと思われる。ただ異なる点は純鉛に対して結晶粒が細かく、マトリックス内に共晶が細かく分散していることが考えられる。これが結晶粒内のすべり、粒界のすべりならびに粒界の移動に対してどのような効果を示すものであるかについては、もつと根本的研究の進捗を待たなければならない。しかしながら現在までの実験結果からこれら共晶合金について、低応力の場合包晶型合金のような好結果はあまり期待できそうもないようである。ただし Pb-Te 合金については G. R. Gohn 氏ら⁽²⁴⁾の研究結果とはやや差異があるようである。なおクリープ破断面の形状については、A. Latin 氏の所説⁽⁸⁾⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾と同様であるので省略する。

なお結晶回復、再結晶などの影響については後日に譲りたい。

〔VI〕 結 言

純鉛、更合金、Pb-Te 合金および Pb-Zn-Cu 系合金に属する合計 16 種の供試材につき、応力 11~77kg/cm²において1年~1年8箇月にわたる定荷重常温クリープ試験を行つた。ケーブル鉛被として問題になる比較的応力のクリープ試験のためには、もつと長期間の試験が必要であり、どの合金が耐クリープ性が良好であるかについて早急な結論は下すことができなかつたが、一応現在までに得られた結果について要約すると次のようになる。

- (1) 純鉛と更合金の耐クリープ性を比べると、応力が大体 40 kg/cm² 以上ではクリープ破断時間は後者が長い、この応力以下の場合はその逆となる。すなわち実際の使用状態に近い低荷重クリープでは、純鉛が Pb-Sn, Pb-Sb または Pb-Sn-Sb 合金よりも良好な耐クリープ性をもっている。
- (2) 現在までに得られたデータから推定すると、低応力におけるクリープは Pb-Cu 合金が良好で Pb-Zn, Pb-Zn-Cu 系合金はこれに劣るものと思われる。Pb-Te 合金では、Te 添加量の増大とともに高応力における耐クリープ性は良好となる。
- (3) クリープ曲線は 3,000 時間ぐらゐまでいずれの合金においても E. N. Andrade 氏の式が適用できるが、これ以上では適用することはできない。

(4) クリープ速度と応力との関係で R. W. Bailey 氏の式は適用できない。すなわち供試合金では低応力側でこの式からはずれてくる。

(5) 応力とクリープ破断時間との関係で純鉛の場合、H. F. Moore 氏の式は適用できるが、更合金では適用できない。

(6) 本実験範囲内ではクリープ破断時の伸びは、純鉛の場合最も小さく、更合金の中では Pb-Sn-Sb 三元系合金が最も大きい。

(7) 純鉛はクリープ過程で結晶粒の成長を示すが、ほかの合金ではこの現象は認められない。

終りに御鞭撻をいただいた日立電線株式会社電線工場久本、山本両博士ならびに種々実験上御援助をいただいた当金属係の方々に厚く御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) H. F. Moore, N. J. Alleman : Univ. of Illinois Bulletin, Vol. 29. No. 48 (1932)
- (2) H. F. Moore, B. B. Betty, C. W. Dollins : Univ. of Illinois Bulletin, Vol. 32. No. 23 (1935)
- (3) H. F. Moore, B. B. Betty, C. W. Dollins : Univ. of Illinois Bulletin, Vol. 35. No. 102 (1938)
- (4) H. F. Moore, C. W. Dollins : Univ. of Illinois Bulletin, Vol. 41, No. 9 (1943)
- (5) C. W. Dollins : Univ. of Illinois Bulletin Vol. 45, No. 65 (1948)
- (6) C. W. Dollins : Univ. of Illinois Bulletin Vol. 48, No. 17 (1950)
- (7) A. H. Sully : Metallic Creep and Creep Resistant Alloys, P. 184 (1949)
- (8) A. Latin : J. Inst. Metals 81, 529 (1952-53)
- (9) R. C. Gifkins : J. Inst. Metals 82, 39 (1953-54)
- (10) L. M. T. Hopkins, C. J. Thwaites : J. Inst. Metals, 82, 181 (1953-54)
- (11) L. M. T. Hopkin : J. Inst. Metals, 81, 443 (1952-53)
- (12) P. Brock : J. Inst. Metals, 83, 191 (1954-55)
- (13) A. H. Sully : Progress in Metal Physics, Vol. 6, P. 135 (1956)
- (14) O. D. Sherby, R. L. Orr, J. E. Dorn : Trans. A. I. M. E. 200, 71 (1954)
- (15) L. F. Hickernell, A. A. Jones, C. J. Snyder : A. I. E. E. Trans, 70, 1273 (1951)
- (16) 山路, 大島 : 日立評論 37, 635 (昭30)
- (17) 山路, 大島 : 日立評論 37, 857 (昭30)
- (18) 山路, 大島 : 日立評論 37, 1207 (昭30)
- (19) 日本電信電話公社 : 材仕規格 13号
- (20) 山路, 大島 : 日立評論 37, 963 (昭30)
- (21) E. N. Andrade : J. Inst. Metals, 60, 427 (1937)
- (22) 大原 : 日立評論, 別冊 16, 110 (昭31)
- (23) R. W. Bailey : Proc. (British) Inst. of Mech. Eng. 131, 131 (1936)
- (24) G. R. Gohn, S. M. Arnorld, G. M. Bouton : Proc. A. S. T. M. 46, 990 (1946)

- (25) 橋口： 機械の研究, 5, 19 (昭28) (28) A. Latin: J. Inst. Metals, 74, 259 (1948)
 (26) 大原： 日本金属学会誌 21, A-143 (昭32) (29) A. Latin: Engineering, 170, 121 (1950)
 (27) ASM 篇: Metals Handbook, (1948)

日立製作所社員社外寄稿一覽

(昭和32年9月受付分)

寄稿先	題 目	執筆者所属	執筆者
オーム社	最近の日立復水装置ならびに給水加熱装置	日立工場	浦田 星
オーム社	最近の日立大容量タービンについて	日立工場	加藤 正敏
日本機械学会	最近のボイラ	日立工場	綿森 力
電気学会	ソーロン回路およびその改良型回路の研究	日立研究所	小野田 芳光
日本原子力産業会議	放射性煙霧質の処理装置	日立研究所	諫早 典夫
日本鉄道車輛工業会	鉄道車輛用日立中型ゴム緩衝器について	笠戸工場	中村 陽一
鉄道図書刊行会	日本のケーブルカ	笠戸工場	大橋 剛
KK日本ビジネス	原 価 管 理	亀有工場	大平 彰
丸善 KK	Wiley 社版 Stepa Noff 著 ターボプロワ 翻譯	亀有工場	寺田 進
荷役研究所	日立 M23 モビールクレーン	亀有工場	松原 為治
日本機械学会	荷役機械の展望	亀有工場	平栗 平之
印刷学会	活版と印刷機械の機構について	川崎工場	鎌田 裕光
			大渡 野辺 浩
日本機械学会	最近のフライス盤の動向について	川崎工場	花岡 貞一
小峰海外資料KK	テープまたはカードを使用する工作機械の制御	川崎工場	片桐 武夫
小峰工業技術KK	空気輸送機	川崎工場	相西 富士夫
日刊工業新聞社	工作機械ほか 29 件	川崎工場	花岡 浩
プラスチックエージ社	ヒツタライト	多賀工場	松井 千
熊本県X線技師会	同時多層断層撮影改造について	亀戸工場	石橋 正男
テレビジョン学会	映像最終段の設計について(文献抄訳)	戸塚工場	竹内 万信
日本能率協会	設計の原価統制	戸塚工場	中黒 吉夫
日本化学会	ガラス表面吸着水の誘電的挙動と水素結合	中央研究所	黒崎 邦重
日本規格協会	直交配列を用いた実験計画	中央研究所	黒島 正昇
技術情報出版社	デジタルコンピュータの演算素子について	中央研究所	高田 三平
日本金属学会	錯塩滴定法によるAl合金中のMg Znおよび亜鉛合金ダイガスト中の微量Mg迅速定量法	中央研究所	北川 吉人
高分子学会	電子顕微鏡の研究から生産まで	中央研究所	相本 野哉
コロナ社	電子管式アナログ計算機の自動制御への応用	中央研究所	只野 浦博
文芸春秋社	電子顕微鏡撮影写真および説明	中央研究所	三木 浦村
日本分析化学会	メケレン青—ニトロベンゼン抽出法による微量硫黄の光度定量	中央研究所	北柴 川則
技術情報出版社	電子管式アナログ計算機の構成および応用	中央研究所	三沼 浦倉
			北世 川良
日本学術振興会	腐蝕電流の一測定および二、三の分極曲線に及ぼす影響について	中央研究所	北世 川良
オーム社	日立製交流電気機関車	水戸工場	北島 澄
オーム社	電気絶縁ワニスおよびコンパンド	PE建設部	松島 正
日本産業機械工業会	レドールクレーン	本社	鈴木 実
日本産業機械工業会	特殊ボックスタイプクレーン	本社	鈴木 実
日本産業機械工業会	アンダーダンプ	本社	鈴木 実
日刊工業新聞社	日立ブレードレスポンプ	本社	関岡 始
ライオン油脂KK	明るい店買いよい店	本社	江川 隣之介
無線産業新聞社	トランジスタ—搬送装置	本社	高橋 猛
電気通信協会	日立可搬型テレビジョン中継装置	本社	湯山 寿一

(第102頁へ続く)