

最近の各種鉛被用鉛合金の検討

A Study of Recent Lead Compounds for Sheathing

大 昌 芳 昭* 大 内 敬 次*
Yoshiaki Obatake Keiji Ouchi

内 容 梗 概

最近各国で使用されるようになった代表的な5種の鉛被用合金、すなわち純鉛、Pb-Cu合金、E-合金、F-3合金、Pb-Sb合金について製造上、使用上問題となる機械的諸性質、押出性、結晶性の成長過程などを検討した。

検討結果を要約するとつぎのようになる。

- (1) 抗張力は、押出直後水冷しない試料では Pb-Sb 合金が最も高く F-3 合金、E-合金、Pb-Cu 合金、純鉛の順に低下するが、F-3 合金は焼入効果が大きく、押出直後急冷した試料では Pb-Sb 合金より高い値を示す。また IPCEA 形屈曲試験では、純鉛、Pb-Cu 合金、F-3 合金が良好である。
- (2) 耐疲労性は、F-3 合金、Pb-Sb 合金、E-合金が、また耐クリープ性では F-3 合金、Pb-Cu 合金が良好である。
- (3) F-3 合金、Pb-Cu 合金は長時間高温に加熱しても結晶粒の成長を起こしがたいが、他の合金は著しい成長を起こす。特に純鉛、Pb-Cu 合金は加熱後の耐疲労性は低下する。
- (4) 押出性は E-合金、F-3 合金などは純鉛、Pb-Cu 合金などに近い値を示すが Pb-Sb 合金は悪い。

5種の代表的な鉛被用合金をとり上げてその機械的諸性質、製造および使用上の問題点などについて検討する。

1. 緒 言

電力ケーブルの鉛被としては従来ほとんど純鉛のみが使用されてきた。しかし電力需要の増大とケーブルの進歩によってその被覆にも高度の機械的諸性質（すなわち耐クリープ性、耐疲労性など）が要求されるようになってきた⁽¹⁾⁽²⁾。また諸外国における鉛および鉛合金の系統的な研究結果^{(1)~(4)} 各種の鉛合金が規格にも採用されるようになってきている。特にアメリカでは、イリノイス (Illinois) 大学における長期間の研究結果^{(5)~(9)}、従来の耐疲労性鉛合金は耐クリープ性の点では純鉛にも劣ることが明らかとなり、クリープ、疲労の両者にすぐれた Pb-As 系合金が開発され使用されている^{(10)~(12)}。一方国内では従来ほとんど純鉛が使用されてきたが、最近マンホールの経済的設計の見地からオフセット部の鉛被許容ひずみを増加させる目的でE合金が使用されるようになった。しかし上述のような諸外国の現況に比較すれば、なお検討の余地が多いように思われる。

日立電線株式会社では近年大量輸出ケーブルを製造して、各種の鉛被用合金について豊富な製造経験をもちその量産態勢を確立している。このため本論文では各国規格の鉛被用合金について考察し、

2. 鉛被用合金の各国規格

各国の鉛被用合金の規格を調査すると、規格として特に鉛被用合金の規定を設けてある国と、単に鉛地金の規定しかない国とに大別される。前者の代表的なものは、BS 801 および DIN 17640 である。また後者の場合についてのべると、アメリカでは AEIC には純鉛および銅入合金を使用する場合のみ ASTM, B-29 のものを使用するように規定されているが、そのほかの鉛合金を使用する場合には製造者と使用者との協議によるよう規定されている。

一方わが国では鉛地金は JIS H 2105 に規定されているが、鉛被用合金については特別な規定はなく使用者側の規定にまかされている現状である。これら各国規格を要約すると第1~4表のようになる。また各国における使用状況およびこれらの規格について考察すると、最近では0.03~0.08%程度の銅を添加したり、もしくは不純物としての銅の許容量を0.06%程度に上げたりして Pb-Cu 合金を使用することが多くなっている。さらに耐疲労性合金について比較す

第1表 ケーブル鉛被のイギリス規格 (BS 801, 1953 による)

合 金 名	標 準 組 成	化 学 成 分 (%)											
		Sb		Sn		Cd		Te	Ag	Cu	Bi	Zn	Toal other Ele.
		min	max	min	max	min	max	max	max	max	max	max	max
Pb		*	0.15	—	0.1	—	—	0.005	0.005	0.06	0.05	0.002	0.01**
E 合 金	0.4% Sn 0.2% Sb	0.15	0.25	0.35	0.45	—	—	0.005	0.005	0.06	0.06	0.002	0.01**
B 合 金	0.85% Sb	0.80	0.95	—	0.01	—	—	0.005	0.005	0.06	0.05	0.002	0.01**
D 合 金	0.5% Sb 0.25% Cd	0.45	0.55	—	0.01	0.20	0.30	0.005	0.005	0.06	0.05	0.002	0.01

N. B. { *乾紙絶縁通信ケーブルの場合は Sb の最小許容含有量を 0.05 % とする
**Cd を含む

補 記

- (1) E合金は純鉛より振動疲労に強いが振動のはなはだしい場所に布設する場合はB合金を使用のこと。
- (2) D合金は長期間使用の実績は少ない。しかしD合金の代わりにB合金を推奨するのに十分な実験はまだない。
- (3) どの合金を使用したらいいか不明のときはケーブル製造者と協議のこと。
- (4) 電力ケーブルの鉛被の使用区分は下記による
 - (i) 外装ケーブル EまたはB合金
 - (ii) 鉛被ケーブル Pb, EまたはB合金
- (5) 乾紙絶縁通信ケーブルの鉛被の使用区分は下記による
 - (i) 普通の状況下で管路布設のケーブル Pb
 - (ii) メッセンジャワイヤを使用した架空ケーブル B合金
 - (iii) 振動のある個所に使用するケーブル EまたはB

* 日立電線株式会社日高工場

第 2 表 ケーブル鉛被のドイツ規格 (DIN 17640, 1959) による

合 金 名		添 加 元 素 含 有 量 (％)							許 容 不 純 物 含 有 量 (％)								補 足	使 用 区 分
		Cu (2)		Sb		Sn	Te	Pb	Ag	As	Bi	Fe	Mg	Sb	Sn	Zn		
		min	max	min	max													
略 号	材料番号(1)																	
Kb-Pb	2.3131.00	0.03	0.05	—	—	(3)	—	bal.	—	—	—	—	—	0.005		—	DIN1719で規定されているPb99.94を使用するときはMgを0.001%を添加することを推奨する。(4)	低合金鉛被用合金鉛被製造用地金
Kb-Pb (Sb)	2.3132.00	0.03	0.05	0.1	0.15	—	—	bal.	—	—	—	—	—	—	0.005	—		
Kb-PbSb0.5	2.3137.00	0.03	0.05	0.5	1.0	—	—	bal.	0.001	0.001	0.05	0.001	0.001	—	0.005	0.001		
Kb-PbSn2.5	2.3138.00	0.03	0.05	—	—	2.5	—	bal.	—	—	—	—	—	0.005	—	—		
Kb-PbTe0.04	2.3139.00	0.03	0.05	—	—	—	0.0350	bal.	—	—	—	—	—	0.005		—		
備 考 (1) 材料番号は DIN 17007 Pt 444 に示す																		

備 考 (1) 材料番号は DIN 17007 Blatt4 による
(2) Kb-Pb(Sb), Kb-PbSb0.5, Kb-Sn2.5, Kb-PbTe0.04, の各合金は鉛精錬者とケーブル製造者の協議によって Cu 添加を省略することもできる。
(3) Kb-Pb[2.3131.00] は Sn を 0.05% 許容できる。
(4) 合金鉛製造用地金として鉛精錬者とケーブル製造者が協議して DIN1719 に規定されている Pb99.99, Pb99.985 を使用することができるが、その場合は材料番号の 4 行目の数字を変える。
たとえば { Kb-PbTe0.04 を Pb99.985 の地金を使用した場合, 材料番号は 2.3129.00 となる
 { Kb-PbTe0.04 を Pb99.99 の地金を使用した場合, 材料番号は 2.3119.00 となる

第 3 表 鉛 地 金 の ア メ リ カ 規 格 (ASTM:B29-55 による)

地 金 名	不 純 物 含 有 量 (％)								Pb 含有量 (％)	
	Ag		Cu		Ag+Cu	As+Sb+Sb	Zn	Fe	Bi	min
	min	max	min	max	max	max	max	max	max	
Corroding Lead ⁽¹⁾	—	0.0015	—	0.0015	0.0025	0.002	0.001	0.002	0.050	99.94
Chemical Lead ⁽²⁾	0.002	0.020	0.040	0.080	—	0.002	0.001	0.002	0.005	99.90
Acid-Copper Lead ⁽³⁾	—	0.002	0.040	0.080	—	0.002	0.001	0.002	0.025	99.90
Common Desilverized Lead ⁽⁴⁾	—	0.002	—	0.0025	—	0.005	0.002	0.002	0.150	99.85

備 考 (1) Corroding Lead とは高純度に精錬した鉛のことをいう
(2) Chemical Lead とは South-eastern Missouri の鉱石から製錬された undesilverized Lead をいう
(3) Acid-copper Lead とは完全に精錬した鉛に銅を添加して作られたものをいう
(4) Common desilverized Lead は fully refined desilverized 鉛をいう

第 4 表 鉛地金の規格 JIS(JIS H2105 による)

種 類	化 学 成 分 (％)							
	Pb	Ag	Cu	As	Sb+Sa	Zn	Fe	Bi
	min	max	max	max	max	max	max	max
特 種	99.99	0.002	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002	0.005
1 種	99.97	0.002	0.003	0.002	0.007	0.002	0.004	0.010
2 種	99.95	0.002	0.005	0.005	0.010	0.002	0.005	0.050
3 種	99.90	0.004	0.010	0.010	0.015	0.010	0.010	0.100
4 種	99.80	—	0.05	0.010	0.04	0.015	0.02	0.10
5 種	99.50	—	0.05	0.010	0.15	0.015	0.05	0.15

第 5 表 各種 Pb-As 鉛被用合金の化学成分

種 類	化 学 成 分 (％)					
	As	Sn	Bi	Cu	Te	Pb
F-3 合 金	0.15	0.10	0.10	—	—	bal.
Gencalloy A	0.10~ 0.17	0.09~ 0.13	—	0.04~ 0.06	—	bal.
Tellurium-Alloy Lead	0.18~ 0.20	0.13~ 0.14	0.06~ 0.08	—	0.07~ 0.10	bal.

0.15% As-0.1% Sn-0.1% Bi 合金 (F-3 合金), Pb-0.85% Sb 合金を取り上げることにする。

3. 試 料

実験に使用した試料はすべて実際の被鉛機によって押し出した鉛管を使用した。すなわち純鉛, Pb-Cu 合金, E 合金はサンデリン社製 No. 4 形ハンソン被鉛機で, F-3 合金はヒドロリック社製 2,400 t 被鉛機でそれぞれ外径 56.5 mm 肉厚 3.1 mm の鉛管として押し出した試料である。また合金の溶製には, それぞれ Pb-11% Sb, Pb-3% As, Pb-1% Cu の母合金を使用し, 地金としてはできるだけ高純度のものを選んだ。

供試料の分析結果を第 6 表に示す。なお試験の関係で上記寸法以外のものを使用した場合については後章に述べる。

第 6 表 供 試 合 金 の 化 学 分 析 結 果

種 類	化 学 成 分 (％)							
	Fe	Cu	Sn+Sb	Sn	Sb	Zn	As	Pb
純 鉛	0.00018	0.001	0.00018	—	—	0.00028	tr.	bal.
Pb-Cu 合 金	0.00015	0.058	0.00016	—	—	0.00023	tr.	bal.
E 合 金	0.00018	0.001	—	0.38	0.22	0.00016	tr.	bal.
F-3 合 金	0.00017	0.001	—	0.082	0.00012	0.00028	0.17	bal.
Pb-Sb 合 金	0.00015	0.001	—	0.00024	0.83	0.00026	tr.	bal.

第7表 各種鉛被用合金の引張試験結果

種 合 金 名	類 水 冷	抗 張 力 (kg/cm ²)	伸 び (%)
純 鉛	あ り	113.1	64
	な し	108.6	56
Pb-Cu 合 金	あ り	125.9	66
	な し	122	65
E 合 金	あ り	174.5	45
	な し	136.4	47
F-3 合 金	あ り	221.9	33
	な し	165.7	48
Pb-Sb 合 金	あ り	208.4	53
	な し	195.3	54

4. 各種鉛合金の機械的諸性質

(1) 引張試験結果

試料の作成は、鉛管を押出方向に切開し大きな加工ひずみを加えないように注意しながら平板状に成形した後、JIS 5 号試験片を押出方向に打ち抜いて行なった。なお加工ひずみを除去するため室温に一週間放置した後試験に供した。

試験にはアムスラー形 10 t 引張試験機を使用して 10 mm/min の引張速度で行なった。第7表はその試験結果である。

この結果からわかるように純鉛は抗張力が最も低く、押出後水冷しない徐冷試料では 108.6 kg/cm² 伸び 56% である。しかし押出後水冷した試料は、結晶粒の成長が阻止されるため抗張力 113.1 kg/cm²、伸び 64% となり、それぞれ 4%、14% の増加を示している。

Pb-Cu 合金について考察すると、徐冷試料では抗張力 122 kg/cm² 伸び 65% で純鉛に比較してそれぞれ 12%、16% 増加している。これは Cu の添加によって共晶の微細組織となり結晶粒度が純鉛に比較して著しく小さいためと考えられる。また Pb-Cu 合金の著しい特長は、押出後水冷しても抗張力 125.9 kg/cm²、伸び 66% でほとんど変化しない点である。これは本系合金では結晶粒の成長速度がおそいため、徐冷しても結晶粒度が同一のためであろう。

次に E 合金について考察すると、徐冷試料では抗張力 136.4 kg/cm²、伸び 47% であり、純鉛に比較して抗張力は 26% 増加し、伸びは逆に 20% 低下しており Sb, Sn の添加により硬化していることがわかる。さらに水冷試料では、抗張力 174.5 kg/cm²、伸び 45% となり徐冷試料に比べ抗張力は 28% 増加しているが伸びはほとんど変化していない。これは本系合金では押出温度から急冷することによる焼入れ効果よりも、急冷によって結晶粒の成長を阻止する効果のほうが大きいことを示している。

次に F-3 合金について考察すると、徐冷試料では抗張力 165.7 kg/cm²、伸び 48% であり純鉛に比較して抗張力は 52% 増加し、伸びは 27% 減少しており、As, Bi, Sn などの添加により硬化している。一方水冷試料では、抗張力 221.9 kg/cm²、伸び 33% となり徐冷試料に比較して抗張力は 34% 増加し伸びは逆に 31% 低下している。すなわち本系合金は押出後急冷することによって焼入れ効果が大きく、著しく機械的強度が改善されることがわかる。

最後に Pb-Sb 合金について考察すると、徐冷試料では抗張力 195.3 kg/cm²、伸び 54% であり純鉛に比較して抗張力は 80% 増加しているが、伸びは 3% の減少にとどまっており Sb の添加は伸びを減少させることなしに機械的強度を増加させることがわかる。また水冷試料では抗張力 208.4 kg/cm²、伸び 53% であり、

第8表 各種鉛被用合金の IPCEA 形屈曲試験結果

種 合 金 名	類 水 冷	屈 曲 破 断 回 数	
		水 冷	水 冷 な し
純 鉛		47	45
Pb-Cu 合 金		45	46
E 合 金		25	30
F-3 合 金		43	56
Pb-Sb 合 金		30	27

徐冷試料に比べ抗張力は 6% の増加しか示さず伸びはほとんど変化しない。しかし本系合金は As, Ag などが微量でも含有していると、焼入後長時間放置すると時効硬化することが知られている⁽¹⁾。

(2) IPCEA 形屈曲試験

ケーブルはその性質上長尺のものをドラム巻きして運搬し、引き伸して管路などに布設する。このため鉛被には通常の機械的性質のほかに屈曲性のよいことも要求される。すなわち機械的強度が高くても数回の屈曲によってき裂を発生しては不適である。このため AEIC では IPCEA で規定された⁽¹⁴⁾試験機による屈曲試験を規定している。このため鉛管の試料から幅 13 mm のリングを切り取り一端を切断して平板状試料とし、IPCEA 形屈曲試験機 (Model 3-06-15-39) を使用して破断するまでの屈曲回数を測定した。その結果を第8表に示す。この表からわかるように、純鉛、Pb-Cu 合金は良好な屈曲特性を示すが、E 合金、Pb-Sb 合金はあまりよくない。さらに屈曲試験では引張試験の場合とことなり冷却による影響は F-3 合金を除いてほとんどないことがわかる。ただし F-3 合金のみは他の合金と全く異なり、押出温度から急冷すると、機械的強度も増加し、屈曲によって破断するまでの回数も増加する。この原因についてはこれだけの実験結果から推定することは困難でありさらに検討の余地がある。

(3) 疲 労 試 験

ケーブル鉛板が疲労破壊する場合を大別すると次の2種に分類することができる。すなわち架空布設の通信ケーブルや橋梁鉄道の沿線に布設されたケーブルなどのように、風や交通機関などによるひずみが比較的強く、振動周波数が高い、いわゆる振動疲労破壊と、管路布設のケーブルが負荷変動によって伸縮しそのひずみがマンホールのケーブルオフセット部に集中して起こる周期の長い、いわゆる伸縮疲労破壊とに大別される。

また現在までに多くの研究者によって発表された鉛被用合金の疲労試験結果によれば^{(7)(15)~(19)}、鉛合金の疲労試験結果を表わす場合には、応力破断回数の関係を示すよりひずみ一破断回数の関係を示したほうがよいこと、同一ひずみでも試験速度を減ずると破断回数が少なくなることなどが明らかにされている。このため本論文では高速度疲労試験として、第1図に示すような電磁共振形疲労試験機を使用して試験速度 6,600 cpm で行なった。また低速疲労試験としては、実際のケーブルを使用して第2図に示すような一端固定式の疲労試験機を作成して試験速度 150 cpm および 3 cpm で行なった。

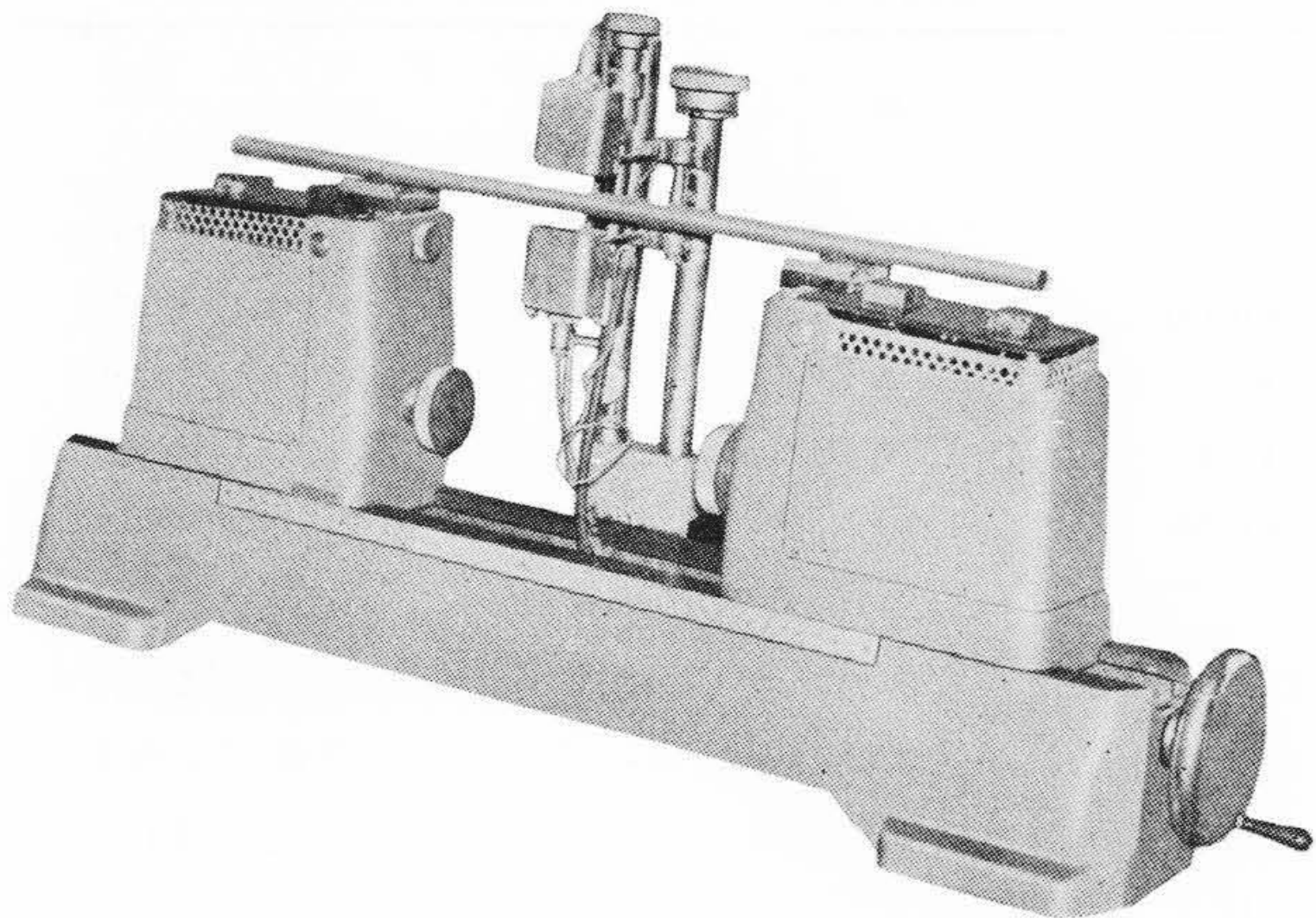
(1) 電磁共振形疲労試験

本法では電磁共振式であるため鉛被のみでは試験できないので、外径 16 mm の丸鋼に厚さ 1 mm の鉛被を被覆して、長さ 750 mm の試料を作成した。なおひずみの計算は次式によった。

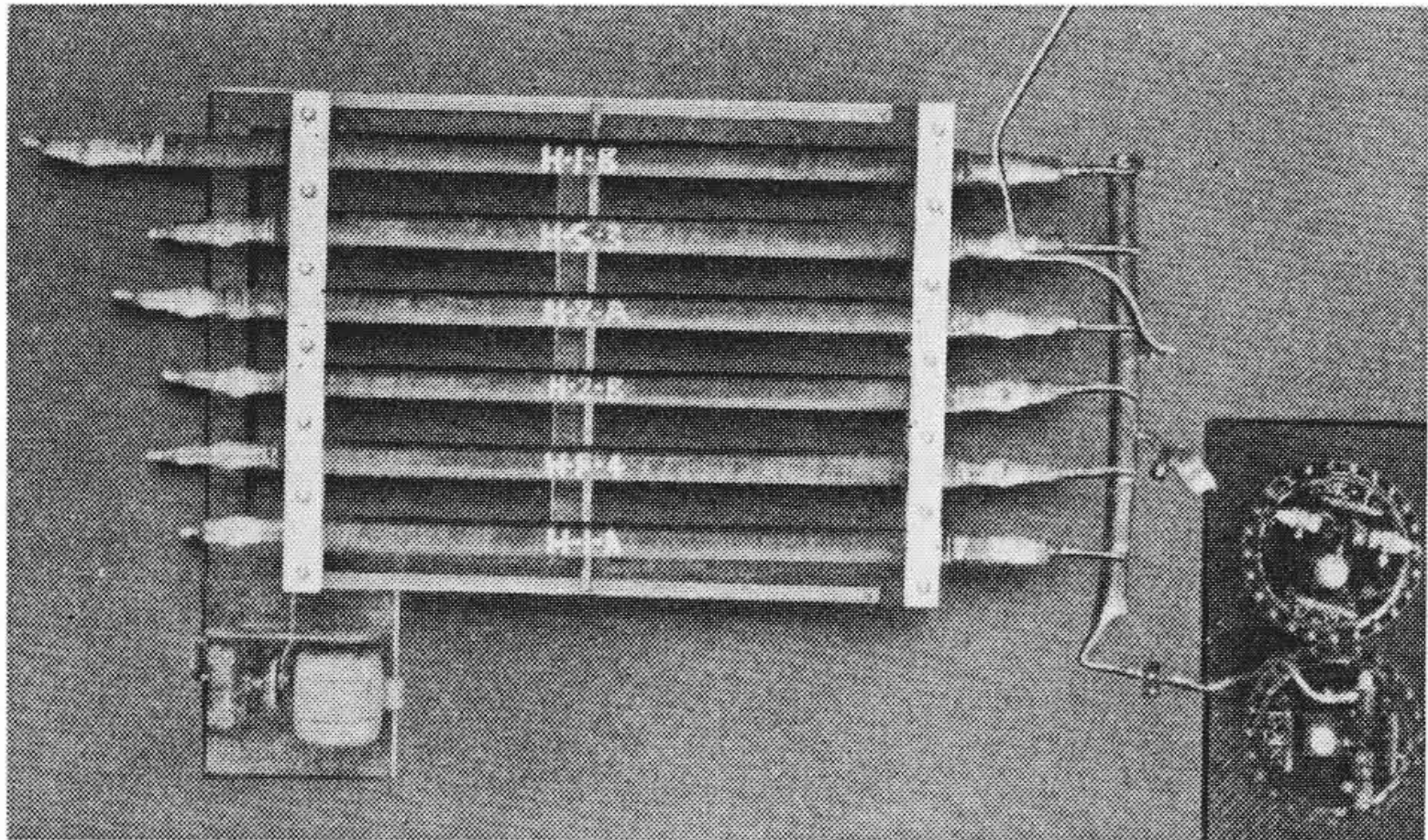
$$\epsilon = 29.23 \frac{EI}{Zl^2}$$

ただし ϵ : ひ ず み

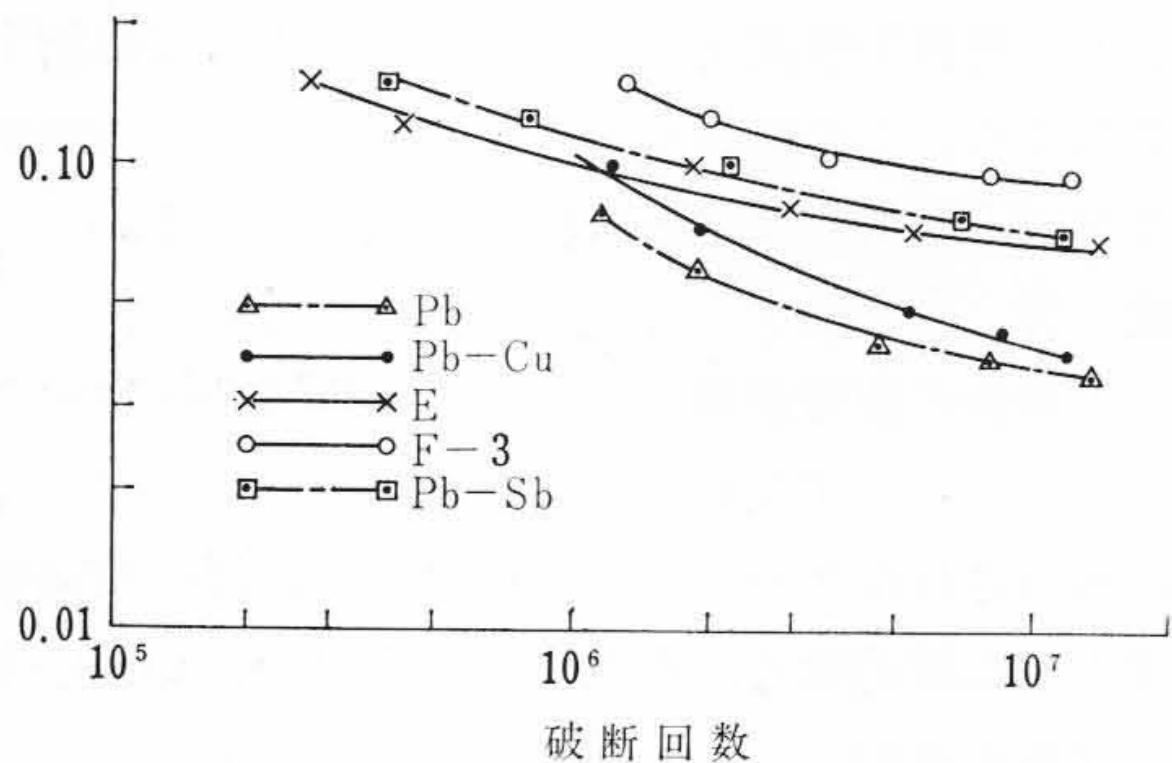
$E=1,390 \text{ kg/mm}^2$ (縦弾性係数)



第 1 図 電磁共振形疲労試験機



第 2 図 繰返し曲げ疲労試験機



第 3 図 各種鉛被用合金の共振形疲労試験結果

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \text{ (断面 2 次モーメント)}$$

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} \text{ (断面係数)}$$

- a : 振 幅
- D : パイプ外径
- l : 試料長さ
- d : パイプ内径

試験結果を第 3 図に示す。この結果からわかるように F-3 合金が疲労強度が最も高く、Pb-Sb 合金、E 合金の順に低下しており Pb-Cu 合金、純鉛は F-3 合金の 1/2～1/3 程度の疲労強度しかないことがわかる。

(2) 繰返し曲げ疲労試験

本試験に使用した試料は、ケーブルコアとしては 60 kV 3×80 mm² OF ケーブル (コア外径 59.1 mm) を使用し、この上に厚さ 3.3 mm の鉛被を押し出し被覆した。すなわち試料の寸法は外径 65.7 mm 肉厚 3.3 mm 長さ 1,500 mm である。また OF ケーブルは被鉛後さらに乾燥含浸工程で長時間 100℃ 前後の高温に保持されるので、結晶粒の成長を起こして疲労強度が変化することが考

第 9 表 各種鉛被用合金の繰返し曲げ疲労試験結果

種 類	破 断 回 数		
	試 験 速 度 (150cpm)		試 験 速 度 (3cpm)
	加 熱 な し	100℃×240 h 加熱	加 熱 な し
純 鉛	66,541	21,505	1,488
Pb-Cu 合 金	81,328	20,312	3,488
E 合 金	103,220	71,104	4,526
F-3 合 金	286,176	273,584	23,640
Pb-Sb 合 金	298,352	195,632	21,416

えられる。このため 100℃ に 240 時間加熱した後の試料についても試験速度 150 cpm で実験した。また屈曲ひずみはいずれの場合も、0.32% であった。試験結果を要約すると第 9 表のようになる。この結果について考察すると次の事項が明らかとなる。

試験速度 150 cpm で加熱しない試料では、Pb-Sb 合金、F-3 合金が最も疲労強度が高く、E 合金、Pb-Cu 合金の順に低下し純鉛が最も低い。また各合金の差は電磁共振形疲労試験で比較するよりも繰返し曲げ疲労試験で比較したほうが大きくできることがわかる。

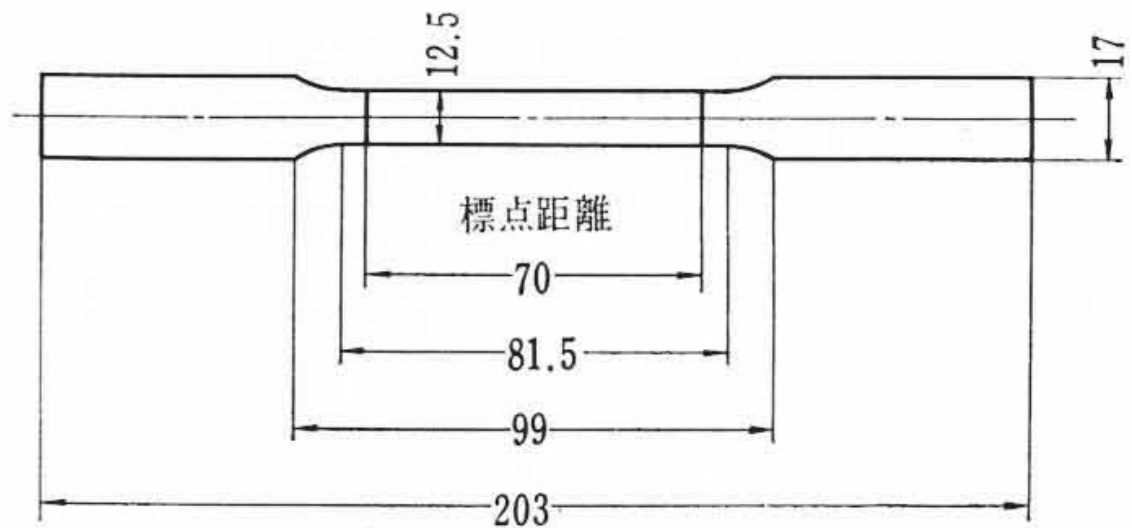
100℃ で 240 時間加熱した試料の結果について考察すると、F-3 合金では加熱後その疲労強度はほとんど変化せず他の合金に比較して非常にすぐれている。Pb-Sb 合金、E 合金は加熱によって 30～35% 程度の低下を示すが、Pb-Cu 合金、純鉛などは 1/3～1/4 程度に低下しており加熱の影響が大きいことがわかる。

また試験速度 3 cpm の場合は、150 cpm の場合に比べて破断までの回数は著しく低下している。すなわちこの場合は F-3 合金の疲労強度が最も高いか試験速度 150 cpm の場合に比較すれば 1/10 程度に低下している。また Pb-Sb 合金では約 1/15、E 合金では約 1/20、Pb-Cu 合金では約 1/25、純鉛では約 1/45 に低下しており、疲労強度の低い合金ほど試験速度の影響が大きいことがわかる。

これらの結果を総合して疲労強度の点では F-3 合金が最も安定して高い強度をもっていることがわかる。

(4) クリープ試験

鉛被のクリープについては、すでに報告⁽²²⁾⁽²³⁾したので詳細な試験方法は省略するが、鉛管を押出方向に切開して平板となし第 4 図に示す寸法で試料を打ち抜いたのち一週間放置して加工ひずみを除去した。試験は温度 45℃、応力 15 kg/cm² で行ない 2,000



第 4 図 クリープ試験片

第 10 表 各種鉛被用合金のクリープによる伸び (応力 15kg/cm², 温度 45℃ の場合)

種 類	クリープによる伸び (%)	
	2,000時間	5,000時間
純 鉛	0.116	0.920
Pb-Cu 合 金	0.087	0.231
E 合 金	0.325	0.985
F-3 合 金	0.053	0.086
Pb-Sb 合 金	0.113	0.425

時間、および5,000時間後の伸びを測定した。その結果を第10表に示す。

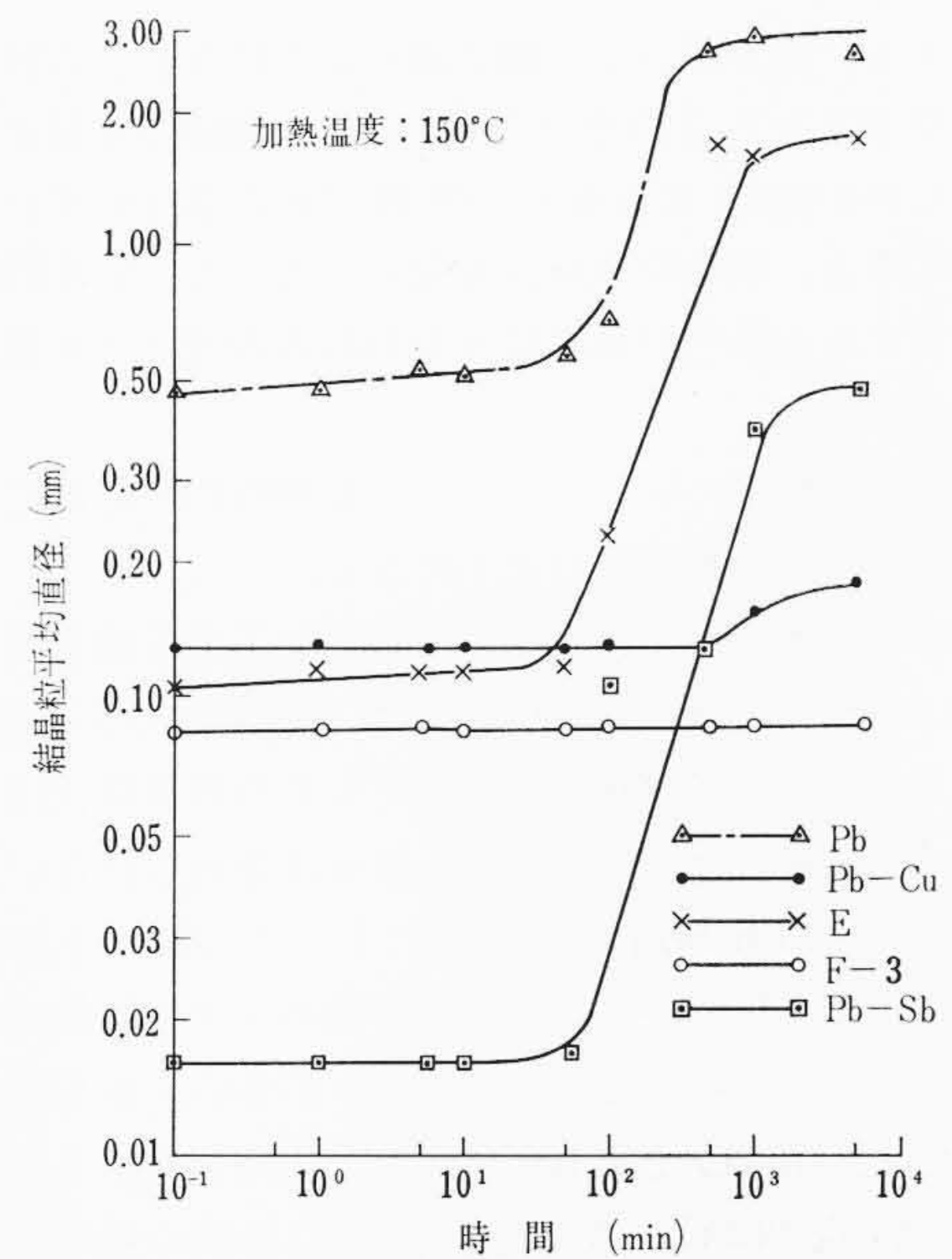
この結果からわかるように耐クリープ性はF-3合金、Pb-Cu合金が良好である。

5. 各種鉛合金の結晶粒成長過程

鉛および鉛合金の再結晶温度は常温以下であるため、被鉛後に乾燥、防食工程などで100℃前後の高温にさらされると結晶粒の成長が考えられる。また布設の際、ケーブル鉛被の接続は鉛工法によって行われ、150~200℃の高温に短時間ではあるが加熱されるので、その影響も無視できないであろう。

このため本報では5種の鉛被用合金について150℃、および200℃に1~5,000分間加熱保持して断面の結晶粒の平均直径を測定し、さらにマクロ組織および顕微鏡組織を観察した。加熱には±1℃の範囲に制約された恒温槽を使用し、結晶粒度の測定は鉛被断面の4個所で行ないその平均値をとった。

加熱温度150℃の場合について、加熱時間と結晶粒の平均直径との関係を求めると第5図のようになる。またマクロ組織および顕微



第5図 加熱温度と結晶粒度との関係(加熱温度 150℃)

種 類	加 熱 時 間 (min) 150℃			
	0	500	1,000	5,000
純 鉛				
Pb-Cu合金				
E-合金				
F-3合金				

第6図 各種鉛被用合金のマクロ組織 (加熱温度 150℃) ×0.7

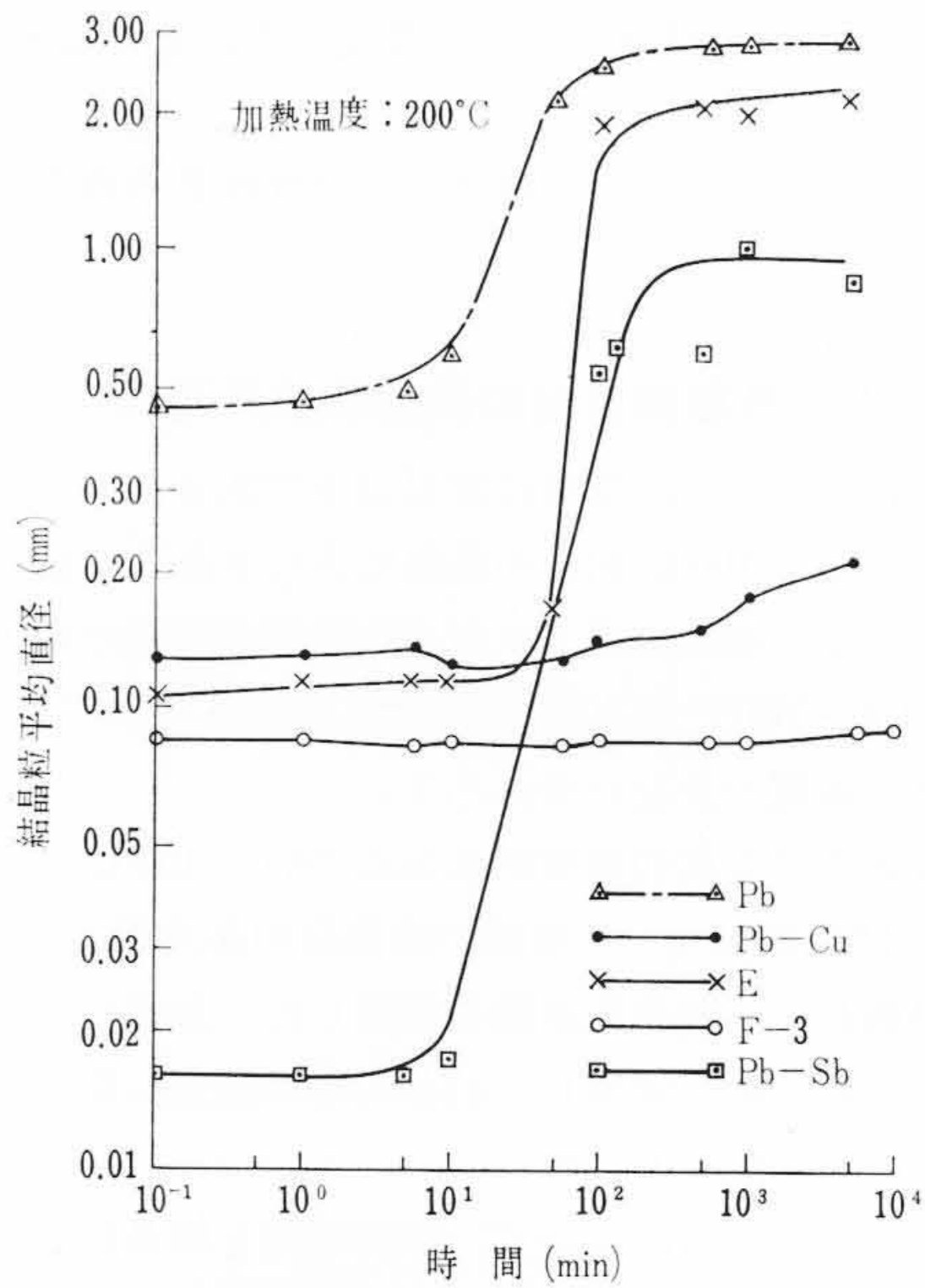
種 類	加 熱 時 間 (min) 150℃								
	0	1	5	10	50	100	500	1,000	5,000
純 鉛									
Pd-Cu合金									
E-合金									
F-3合金									
Pb-Sb合金									

第7図 各種鉛被用合金の顕微鏡組織(加熱温度 150℃) ×25

鏡組織を示すと、第 6 図および第 7 図のようになる。これらの結果について考察すると F-3 合金は 5,000 分の加熱後でも結晶粒はほとんど変化しないが純鉛、E 合金および Pb-Sb 合金はいずれも 100 分間以上加熱すると、結晶粒の成長を起こしている。なお Pb-Sb 合金は研磨後腐食すると黒色の被膜におおわれるのでマクロ組織をとることは省略した。

また加熱温度 200℃ の場合について、加熱時間と結晶粒の平均直径との関係を求めると第 8 図のようになる。

この場合のマクロ組織および顕微鏡組織を示すと第 9 図および第 10 図のようになる。これらの結果について考察すると、150℃ の場合と同様に F-3 合金は 5,000 分加熱してもその結晶粒はほとんど変化せず、また Pb-Cu 合金もわずかしかな成長は認められない。しかし純鉛、E 合金および Pb-Sb 合金はいずれも、10 分間以上加熱すると結晶粒の成長を起こしている。また第 9 図のマクロ組織からもわかるように純鉛は加熱すると焼鈍双晶の発生が多い。さらにこれら 3 種の鉛合金では、150℃ では 100 分間以上加熱しないと結晶粒の成長を起こさないが、200℃ になるとわずか 10 分間の加熱で成長が起こり、加熱温度が高いほど結晶粒の成長を始める時間は短くなって



第 8 図 加熱温度と結晶粒度との関係(加熱温度 200℃)

種 類	加 熱 時 間 (min) 200℃			
	0	500	1,000	5,000
純 鉛				
Pb-Cu合金				
E-合金				
F-3合金				

第 9 図 各種鉛被用合金のマクロ組織 (加熱温度 200℃) ×0.7

種 類	加 熱 時 間 (min) 200℃								
	0	1	5	10	50	100	500	1,000	5,000
純 鉛									
Pd-Cu合金									
E-合金									
F-3合金									
Pb-Sb合金									

第 10 図 各種鉛被用合金の顕微鏡組織 (加熱温度 200℃) ×25

いる。また Pb-Cu 合金、F-3 合金が結晶粒の成長を起こさない原因について考察してみると次のようなことが考えられる。

この2種の鉛合金はいずれも共晶合金であり、その顕微鏡組織からわかるように微細な第2相が分散して分布している。一方結晶粒の成長は粒界移動によって起こるが、粒界移動の際これら微細な第2相は障害となり、したがって結晶粒の成長が阻止されるものと考えられる。

6. 各種鉛被合金の押出性

ケーブル鉛被の製造は、水圧を利用したラム形のいわゆるたて形被鉛機、もしくはスクリー形の連続被鉛機によって行なわれるから、機械的諸性質の良好なこととともに押出性のよいことが重要である。各種の鉛被用合金の押出性を比較するには実際の被鉛機によるのが最も確実であるが、製造機械であるから種々の鉛合金を少量づつ押し出すことは経済的見地から不可能に近い。このため本報では、5種の鉛被用合金の押出性を比較すると同時に、種々の鉛合金の押出性を比較する簡便な方法を見いだすため、被鉛機で押し出した場合の押出過程中的押出圧力の変化と、熱間衝撃試験から求めた変形抵抗とを比較検討した。

(1) 変形抵抗の測定

供試合金をそれぞれ直径 15 mm、長さ 150 mm の鋼製鋳型に鋳造して鉛棒を作り、これを切削して高さ 15 mm、直径 15 mm の試料を作成した。この試料を熱間衝撃試験機に設置された管状電気炉の中央に保持して試験温度に加熱したのち 10 分間保持して試験を行なった。試験条件は重錘 8 kg のものを高さ 500 mm より落下させた。この場合の平均ひずみ速度を次式によって計算した⁽²⁰⁾。

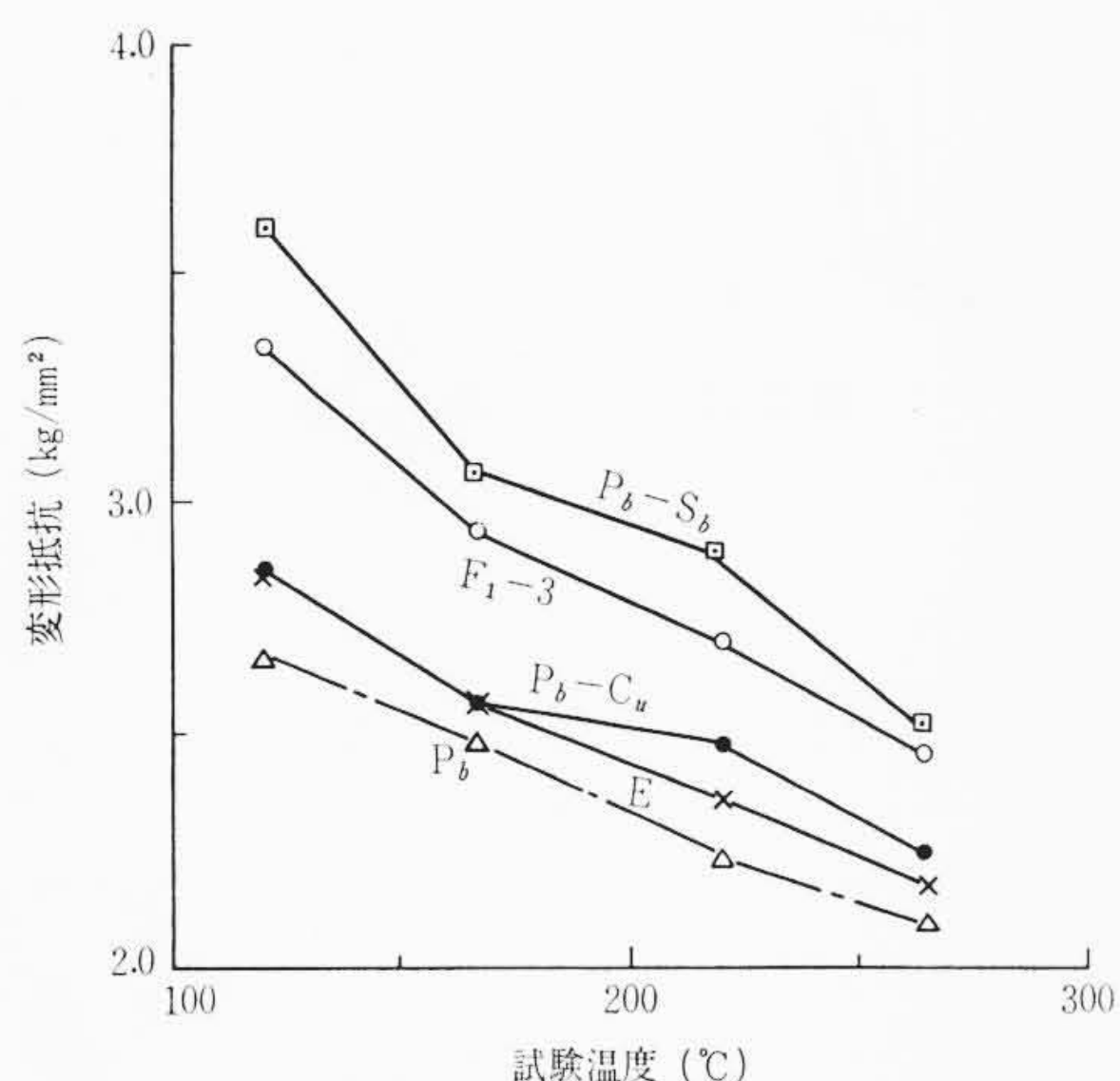
$$\dot{\epsilon} = 0.8v \quad v = \sqrt{2gh}$$

すなわち 250 s^{-1} である。

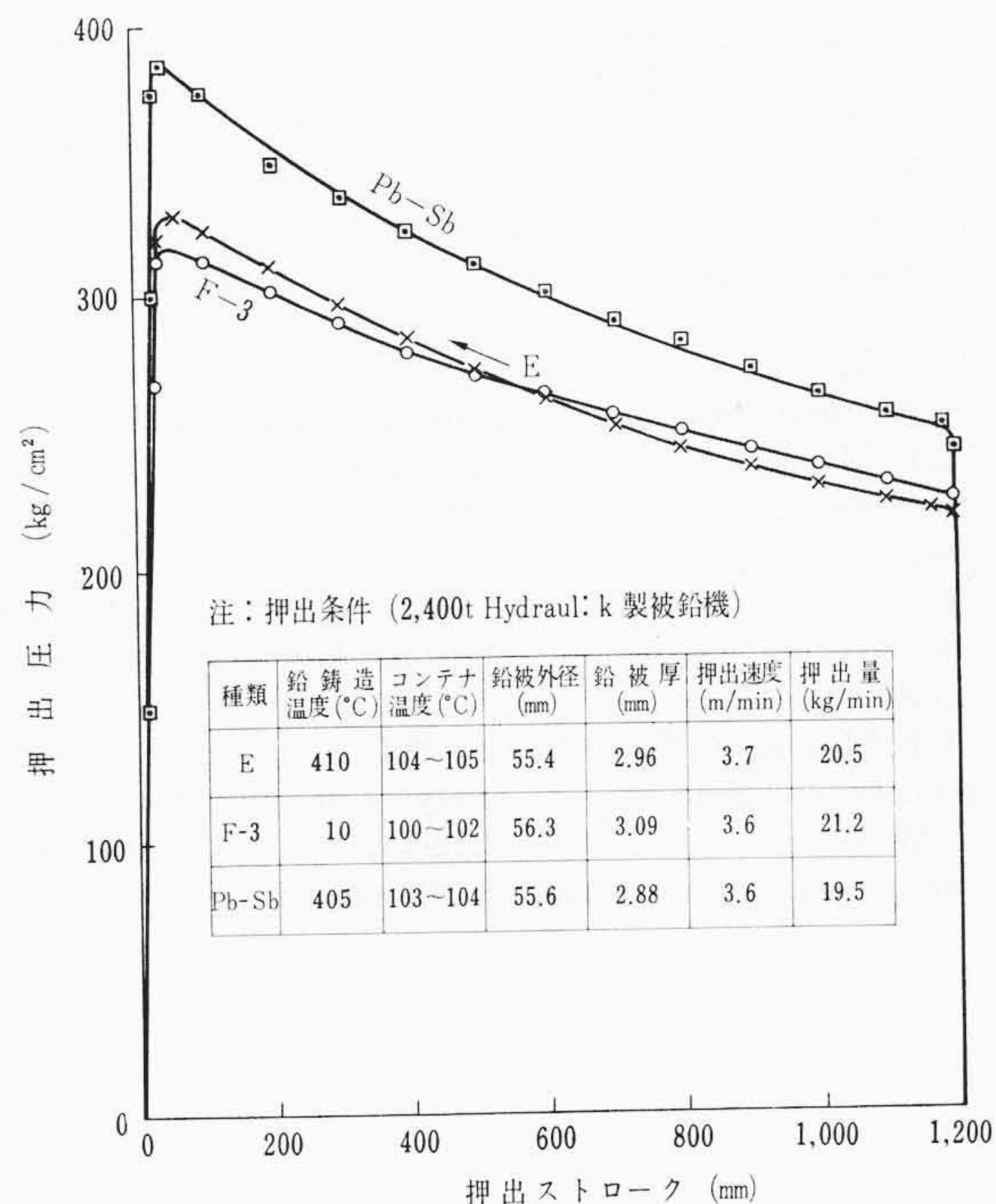
試験結果を第 11 図に示す。これらの結果からわかるように、純鉛が最も変形抵抗が小さく、ついで E 合金および Pb-Cu 合金、F-3 合金の順であり、Pb-Sb 合金が最も変形抵抗が大きい。

(2) 被鉛機による押出圧力の比較

ヒドロリック社製 2,400 t 被鉛機 (コンテナ容量 600 kg) によって 3 種の鉛合金 (E 合金、F-3 合金、Pb-Sb 合金) を押し出した場合の押出過程中的押出圧力を比較すると第 12 図のようになる。なおこの際押出量、押出速度は図中に示すようにほぼ一定に保持された。この図からわかるように、Pb-Sb 合金が最も押出性が悪く E 合金および F-3 合金はほぼ同程度である。またこの押出圧力の変化と、熱間衝撃試験から求めた変形抵抗を比較してみると、F-3 合金がやや違った傾向を示すがほかの合金はよく一致した傾



第 11 図 各種鉛被合金の高温における変形抵抗



第 12 図 各種鉛被合金の押出特性

向を示している。この事実は、変形抵抗から被鉛機による押出性を推定することが可能であることを示している。なお Pb-Sb 合金はこのほかに被鉛機のコンテナに鋳造する際、著しい偏折を起こし「ソゲ」といわれる熱間脆性 (ぜいせい) を起こして押し出しを困難にするが、すでに報告⁽²¹⁾したのでここでは省略した。

7. 結 言

最近各国で使用している 5 種の鉛被用合金 (純鉛、Pb-Cu 合金、E 合金、F-3 合金、Pb-Sb 合金) について、製造上使用上問題となる機械的諸性質 (抗張力、屈曲特性、疲労およびクリープ性)、押出性、結晶粒の成長過程などを比較検討して、各合金の特性を明らかにした。

検討結果を要約すると次のようになる。

- (1) 抗張力は押出直後水冷しない試料では、Pb-Sb 合金が最も高く、F-3 合金、E 合金、Pb-Cu 合金、純鉛の順に低下するが、F-3 合金は焼入効果が大きく押出直後急冷すると、Pb-Sb 合金より抗張力は大きくなる。また IPCEA 形屈曲試験では、純鉛、Pb-Cu 合金、E 合金が良好な結果を示した。
- (2) 耐疲労性は Pb-Sb 合金、F-3 合金などがよい。また純鉛、Pb-Cu 合金は長時間加熱すると著しく耐疲労性が低下する。
- (3) 耐クリープ性は F-3 合金、Pb-Cu 合金がよい。
- (4) 結晶粒の成長に対する抵抗は、F-3 合金、Pb-Cu 合金が大きい。これを細く分散して存在する第 2 相が、粒界移動の障害になるためであろう。ただし Pb-Cu 合金は結晶粒の成長は少なくとも長時間加熱すると疲労強度は著しく低下する。

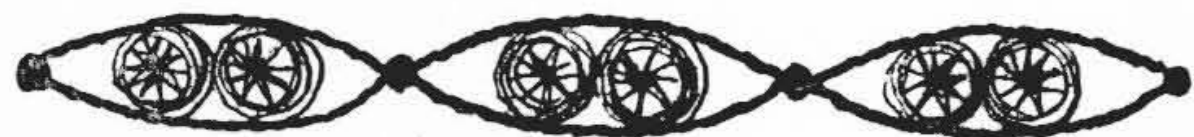
終わりに終始ご激励をいただいた日立電線株式会社水上副工場長、杉山部長、星課長、ならびに種々実験上ご援助をいただいた関係各位に深謝する次第です。

参 考 文 献

- (1) W. Hofmann: Blei and Bleilegierungen (1962. Springer-Verlag)

- (2) S. A. Hiscock: Lead and Lead Alloys for Cable Sheathing (1961. Ernst Benn. Ltd)
- (3) L. M. T. Hopkin: J. Inst of Metals, 82, 181, 1953~54
- (4) P. Brock: The Creep, Fatigue and Structural Stability of Some Alloys of Lead with Cadmium, Antimony, Arsenic and Indium, B. N. F. M. R. A. Research Report A, 1054, 1954
- (5) H. F. Moore, N. J. Alleman: Bulletin 243, Engineering Experiment Station, University of Illinois, 1932
- (6) H. F. Moore, B. B. Betty, C. W. Dollins: Bulletin 272, Engineering Experiment Station, University of Illinois, 1935
- (7) H. F. Moore, B. B. Betty, C. W. Dollins: Bulletin 306, Engineering Experiment Station, University of Illinois, 1938
- (8) H. F. Moore, C. W. Dollins: Bulletin 347, Engineering Experiment Station, University of Illinois, 1943
- (9) C. W. Dollins: Bulletin 378, 394, 440, Engineering Experiment Station, University of Illinois, 1948~1956

- (10) L. F. Hickernell: Trans. of A. I. E. E., 70, 1273 (1951)
- (11) R. W. Atkinson, L. Meyerheff: Trans. of A. I. E. E., 72, 246 (1953)
- (12) J. F. Eckel: Trans. of A. I. E. E., 73, 294 (1954)
- (13) P. Brock, J. Mckeown: Proc. of I. E. E., 110, 174 (1963)
- (14) Solid-Type Impregnated-Paper-Insulated Lead-Covered Cable Specifications, AEIC 9th Edition (1954)
- (15) G. R. Bouton, W. C. Ellis: Proc. A. S. T. M., 51, 721 (1951)
- (16) J. F. Eckel: Proc. A. S. T. M., 51, 745 (1951)
- (17) G. M. Bouton: Proc. A. S. T. M., 45, 473 (1945)
- (18) H. Halperin, C. E. Betzer: Trans. of A. I. E. E., 70, 422 (1951)
- (19) L. M. T. Hopkin, C. J. Thwaites: J. Inst. of Metals, 82, 181 (1953)
- (20) 池島: 扶桑金属工業報告 31 (1949-4)
- (21) 大島: 日立評論 43, 79 (昭36)
- (22) 山路, 大内: 日立評論 39, 294 (昭32)
- (23) 山路, 大内: 日立評論 42, 82 (昭35)



登録新案第717055号

新案の紹介



金子良士

出入口扉装置

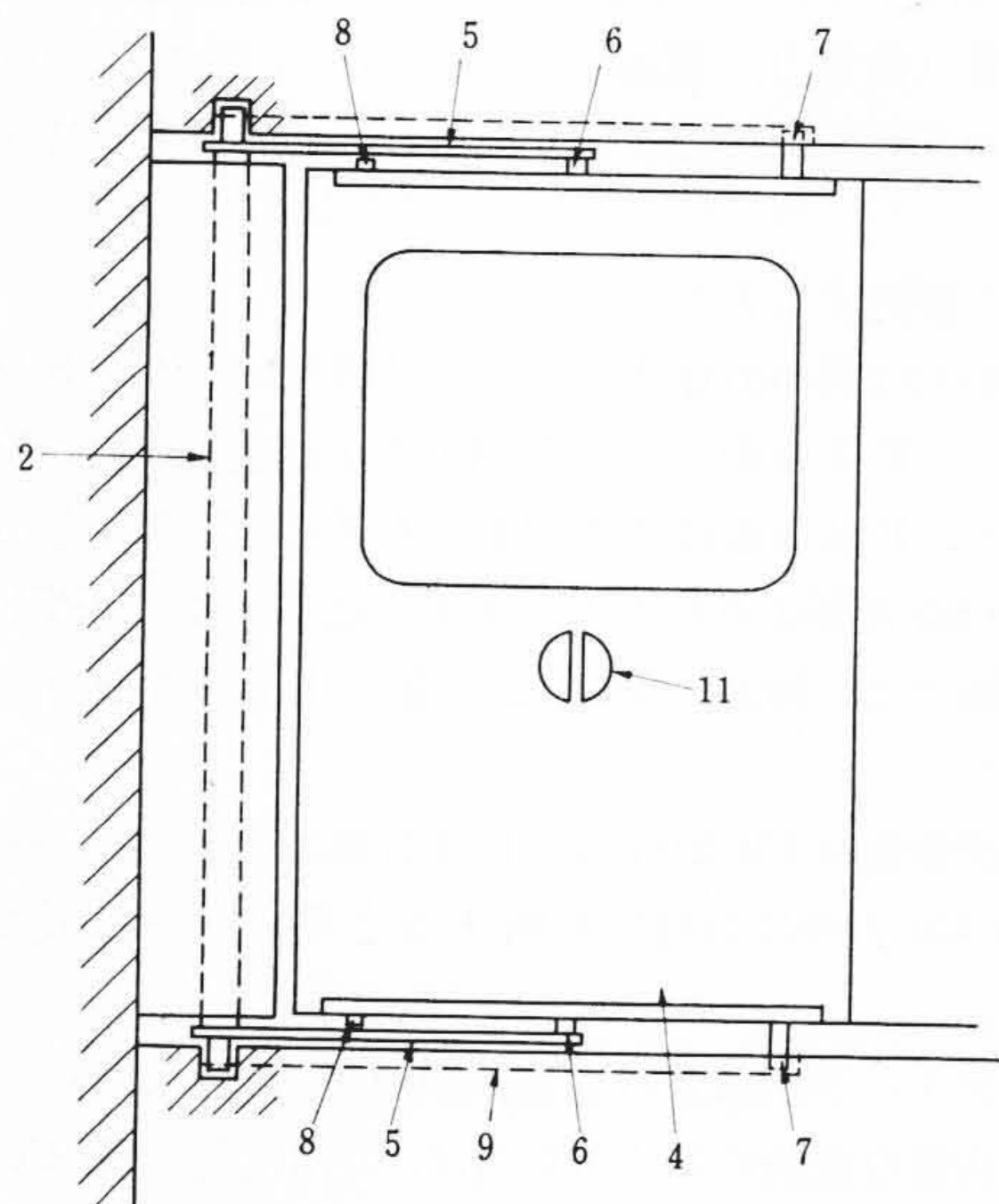
この考案は車両に好適な出入口扉装置に関するもので、第1図は横断面図、第2図は正面図である。

図は扉を閉じた状態を示し、軸2をたとえば戸閉機械などによって時計方向に回転すると、腕5を介してピン6は矢印方向に動かされる。この場合、ピン7は案内9によって拘束されるので、まずピン8が矢印方向に移動し、ついでピン7が矢印方向に移動する。し

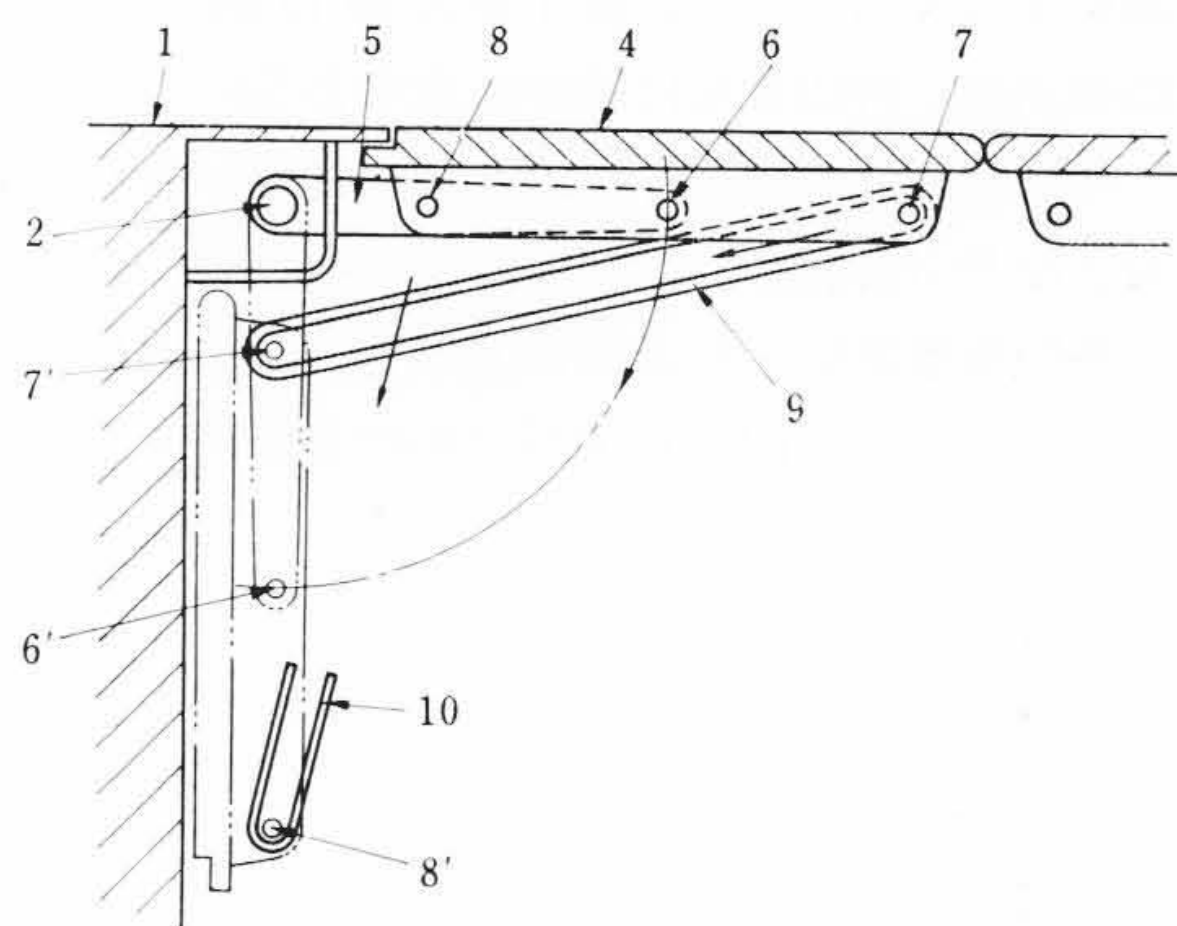
たがって扉4は軸2に対して衛星のように、すなわち壁面に沿ってピン6を中心に自転しながら軸2に対して公転し、ピン6, 7, 8はそれぞれ6', 7', 8'の位置となり、扉4は鎖線位置すなわち開扉状態となる。

閉扉の場合は、軸2を反時計方向に回転すれば、扉4は開扉の場合とは逆に作動して図示位置となり、その外面と側柱1外面とは同一面となる。手で扉4の開閉をしようとする場合は、取手11を使用して力を加えれば、上記と同様自由に開閉できる。

この考案によれば、扉は常に壁面に沿って移動するので、衣服を損傷したり扉に挟まれるというようなことはなく、構造は簡単で保守点検が容易となる。



第1図 横断面図



第2図 正面図