

# 日立電線株式会社で開発したAS線（アルミ被鋼線）の諸性能

Various Properties of "AS-Wire" (Aluminium Clad Steel Wire)

Developed by Hitachi Wire & Cable, Ltd.

山路 賢 吉\* 柿 崎 公 男\*\* 川 西 六 郎\*\*  
Kenkichi Yamaji Kimio Kakizaki Rokurō Kawanishi

## 内 容 梗 概

鋼線上に電気用アルミニウムを被覆し、導電性と機械的強さを適当に組合わせるとともに耐食性の良好な複合導電材料をうることは、従来から考えられていたが工業的規模で生産できる方法は存在しなかった。

われわれは永年にわたり研究してきた常温圧接法を応用し、亜鉛メッキ鋼線上に電気用アルミニウムを連続的に圧接、被覆させる方法を世界にさきがけて開発した。本報告は、この新しい方法により製造したAS線についてその構造、性能、特長、用途などについて研究した結果をとりまとめたものである。実験結果によれば、AS線のアルミニウムと亜鉛メッキ鋼線とは完全に一体となっており、アルミニウムと亜鉛層の間には相互原子の拡散が起っていることが判明した。したがってAS線について引張り、ねん回、などの試験を行ってもアルミニウムと亜鉛メッキ鋼線は同時に破断する。また本製造法によれば、鋼線の種類および寸法、アルミ層の厚さを広範囲に変化できるので、その用途により、最適な複合導電材料を供給することが可能となった。

## 1. 緒 言

近年導電材料として使用されるアルミの需要量は世界的に急激な増加の一途をたどっている。そのおもな理由としては価格が銅に比べて低廉で安定していることがあげられるが、一方その高導電性（その導電率は同体積では銅の約61%、同重量では銅の約2倍以上）によるものである。またアルミの耐食性は、アルミ表面に自然に生成される自己回復性の酸化アルミ皮膜により良好である。

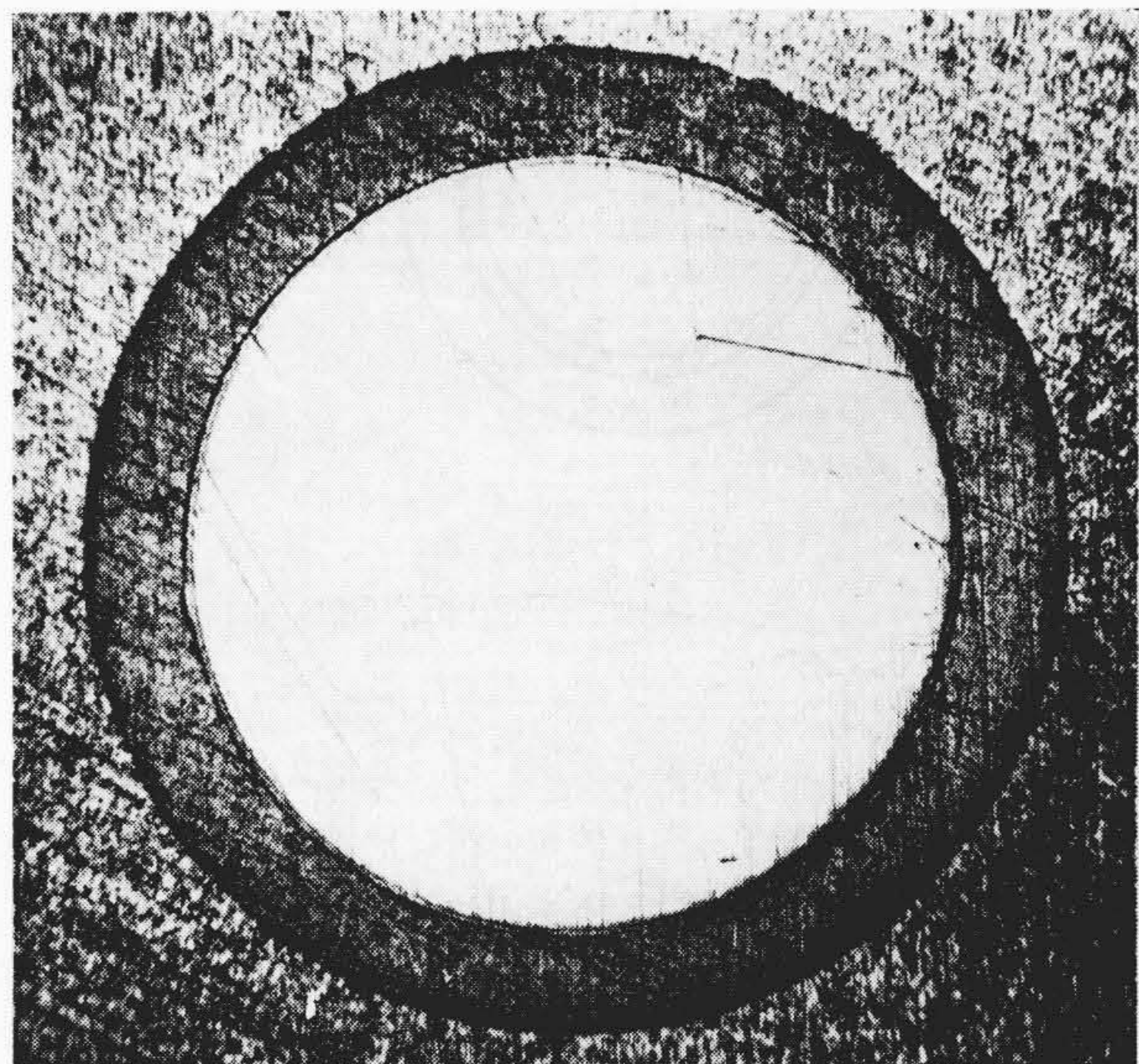
しかしながらアルミの電線材料としての欠点は機械的強度の低いことである。これに対する対策としてはつぎの3方法が考えられる。

- (i) 導電用アルミ合金を開発すること。
- (ii) アルミ線を亜鉛メッキ鋼線とより合わせること。
- (iii) アルミ被鋼線を開発すること。

(i)については数多くの研究<sup>(1)~(6)</sup>がなされ、アルドライ系統の合金が使用され、わが国ではイ号合金として知られている。この系統の合金はAl-Mg<sub>2</sub>Si凝二元系合金で、Mg<sub>2</sub>Siの焼入れ、焼戻しにより、導電率をあまり低下させることなく機械的強度を増大させるものである。しかしこの系統の合金は長時間高温（100°C前後）で使用すると、Mg<sub>2</sub>Siの凝集、粗大化がおこり、その機械的性質、耐疲労性、耐食性が著しく低下する欠点がある。わが国ではイ号アルミ合金のほかにロ号アルミ合金があるが、これはイ号アルミ合金に銅を0.5%添加したもので、導電率は50~53%であるが、引張り強さは41.5~46.5 kg/mm<sup>2</sup>に向上する。しかしながら銅を添加しているため耐食性が低下する懸念がある。なお欧州においても、熱処理により機械的強度をうる合金（アルドライ系統）が開発されており、米国においても同じくこの系統の合金が使用されており、Kaiser Al & Chem-CorpではAAAC (All Aluminium Alloy Conductor) と呼ばれ、ALCAN, ALCOAでは5005合金と称している。

(ii)については、亜鉛メッキ鋼線とアルミ線が接触しているから腐食性ふん囲気では、両者の局部電池作用によるアルミの点食を起すおそれがあるので、海岸または工業地帯に架線される鋼心アルミより線(ACSR)には防食処理をほどこす必要がある。

(iii)については、近年盛んに研究が進められ、亜鉛メッキと同様な熱浸漬法 (Hot Dipping)<sup>(7)</sup>による方法も研究されたが、付着す



第1図 AS線の横断面 (×20)

るアルミの純度の低いこと、アルミと鋼線間に生成される金属間化合物（たとえば Al<sub>3</sub>Fe, Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>Fe など）が機械的にもろいため良好な製品をうることは困難であった。なおこの場合、線自体が高温において処理されるため機械的強度が低下することは論をまたない。

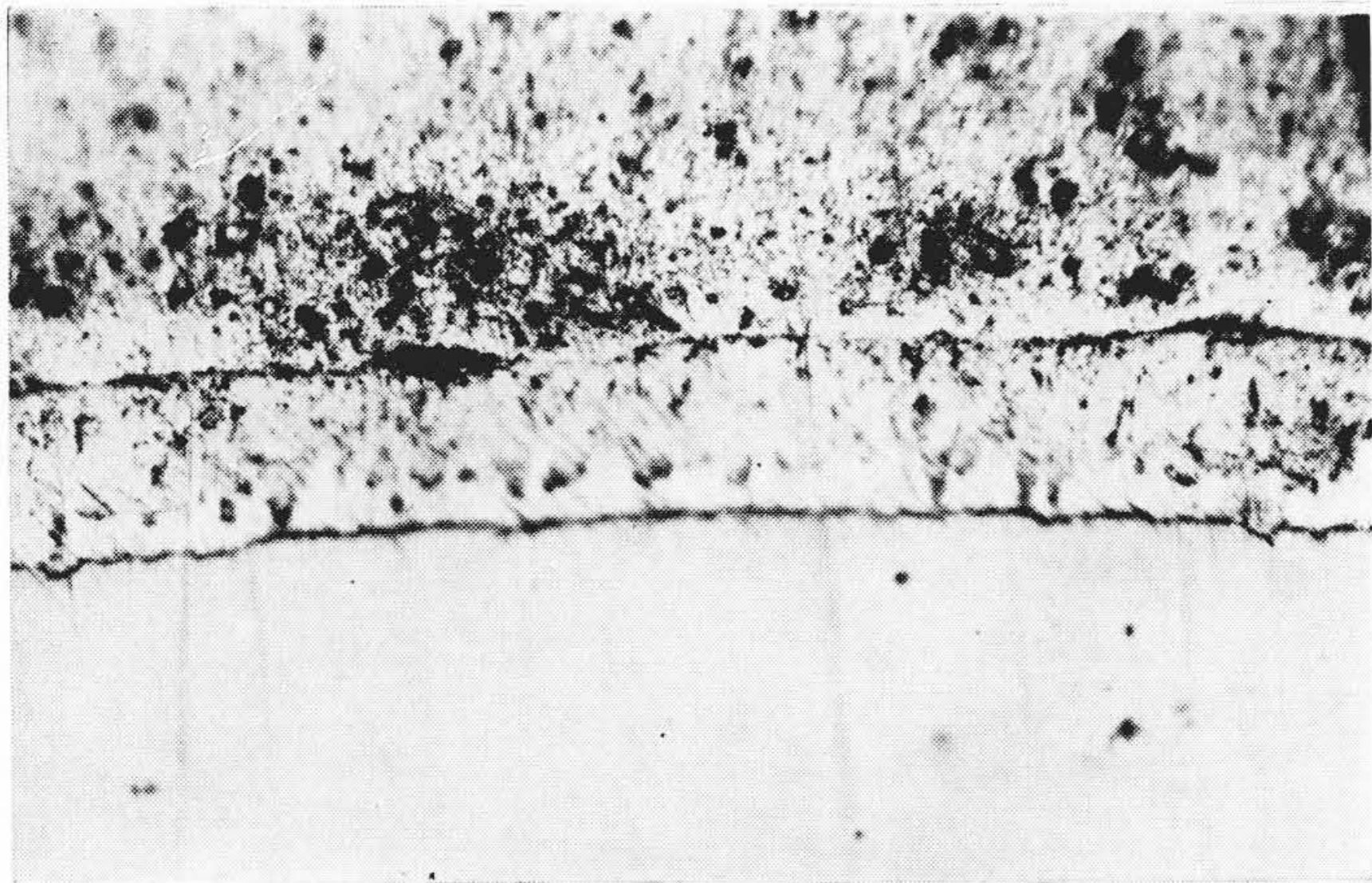
米国の Copperweld Co. では、カッパーウェルドと同じ方法でアルミ被鋼線を製造することはアルミと鋼の塑性変形能の著しく異なること、前述の金属間化合物が加工を不可能にさせることなどに着目し、カッパーウェルドと同じような製造方法は取り得ないと結論し、粉末冶金技術を応用した新しい方法を開発<sup>(8)</sup>した。これは鋼線上にアルミ粉末を連続的に被覆焼結させ、その後の伸線により所要の寸法に仕上げるもので、アルモウェルド (Alumoweld) と呼ばれ、漸次利用の途が開けつつある。この方法ではアルミと鋼線間に金属間化合物を生成させないで製造する特長がある。しかしながらこの方法では鋼線の種類が限定されること、被覆焼結させるアルミ厚には限度があること、被覆されているアルミも純度の高いアルミではなく、アルミとアルミナの混合物であることなどの欠点が存在している。

筆者らの1人は5年前より金属の常温圧接<sup>(9)~(13)</sup>について研究し

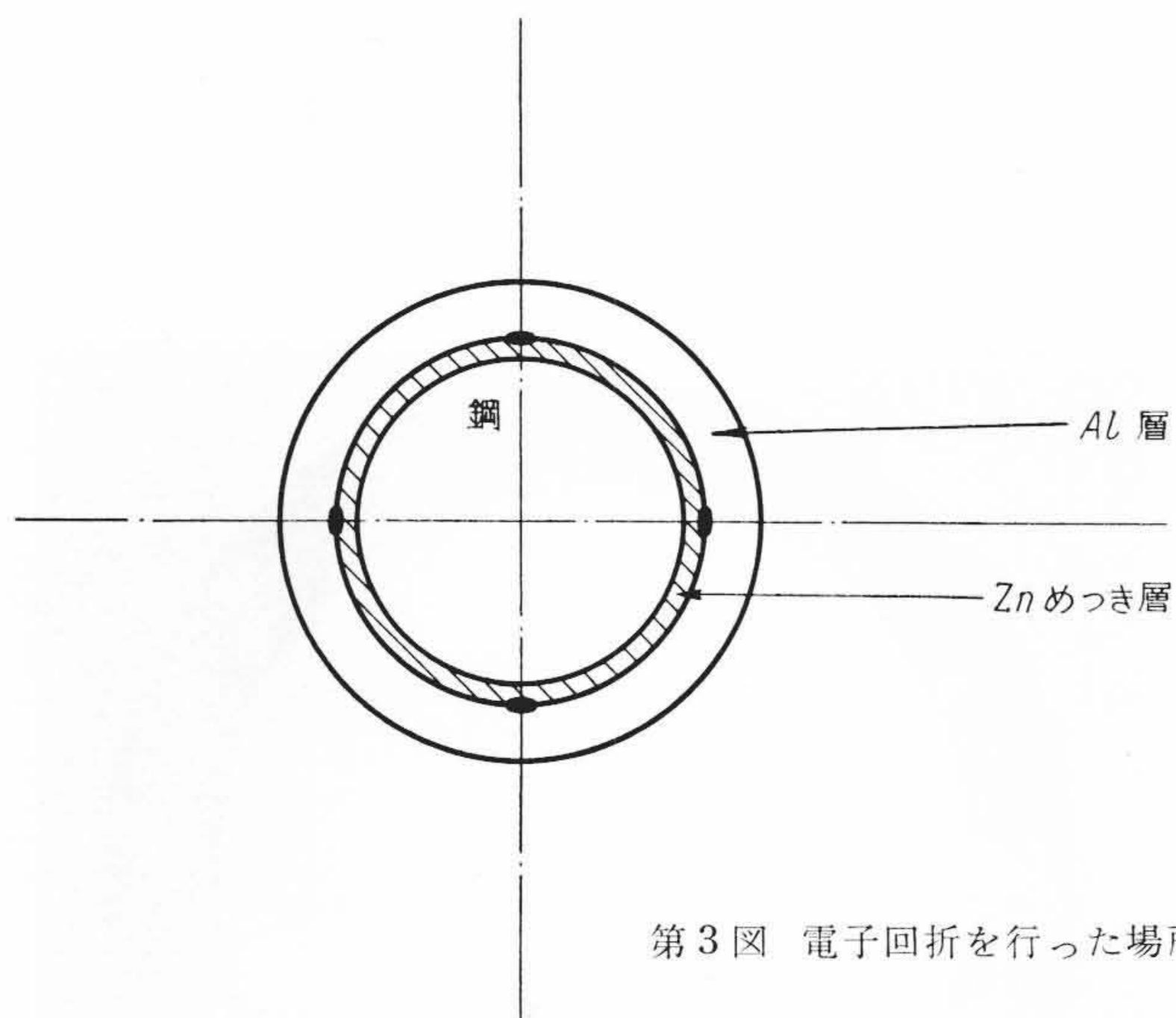
\* 日立電線株式会社電線工場工博

\*\* 日立電線株式会社電線工場





第2図 AS線の圧接界面付近の顕微鏡組織 (×400)



第3図 電子回折を行った場所

てきたのであるが、その成果を応用して、亜鉛メッキ鋼線上にアルミを連続的に圧接被覆する画期的な新方法を世界にさきがけて開発した。この方法によれば被覆されるものはアルミにとどまらず、イ号アルミ合金、銅などについても可能である。この方法の特長とするところは、使用する亜鉛メッキ鋼線は普通のもので良く、0.6%炭素鋼(引張り強さ 140 kg/mm<sup>2</sup> 程度)と同様に 0.8% 炭素鋼(引張り強さ 180 kg/mm<sup>2</sup> 程度)も利用できる。またアルミ厚さを鋼線に対して適当にとることができるので使用する鋼線の種類と寸法を変化させることにより適当な導電率と機械的強さの組合せを選ぶことができる。

本論文は電気用アルミニウム(純度 99.76%)を鋼線(0.8%C)に被覆したAS線の構造、一般的性能、特長および電線としてのAS線の応用について述べたものである。

## 2. AS線の構造

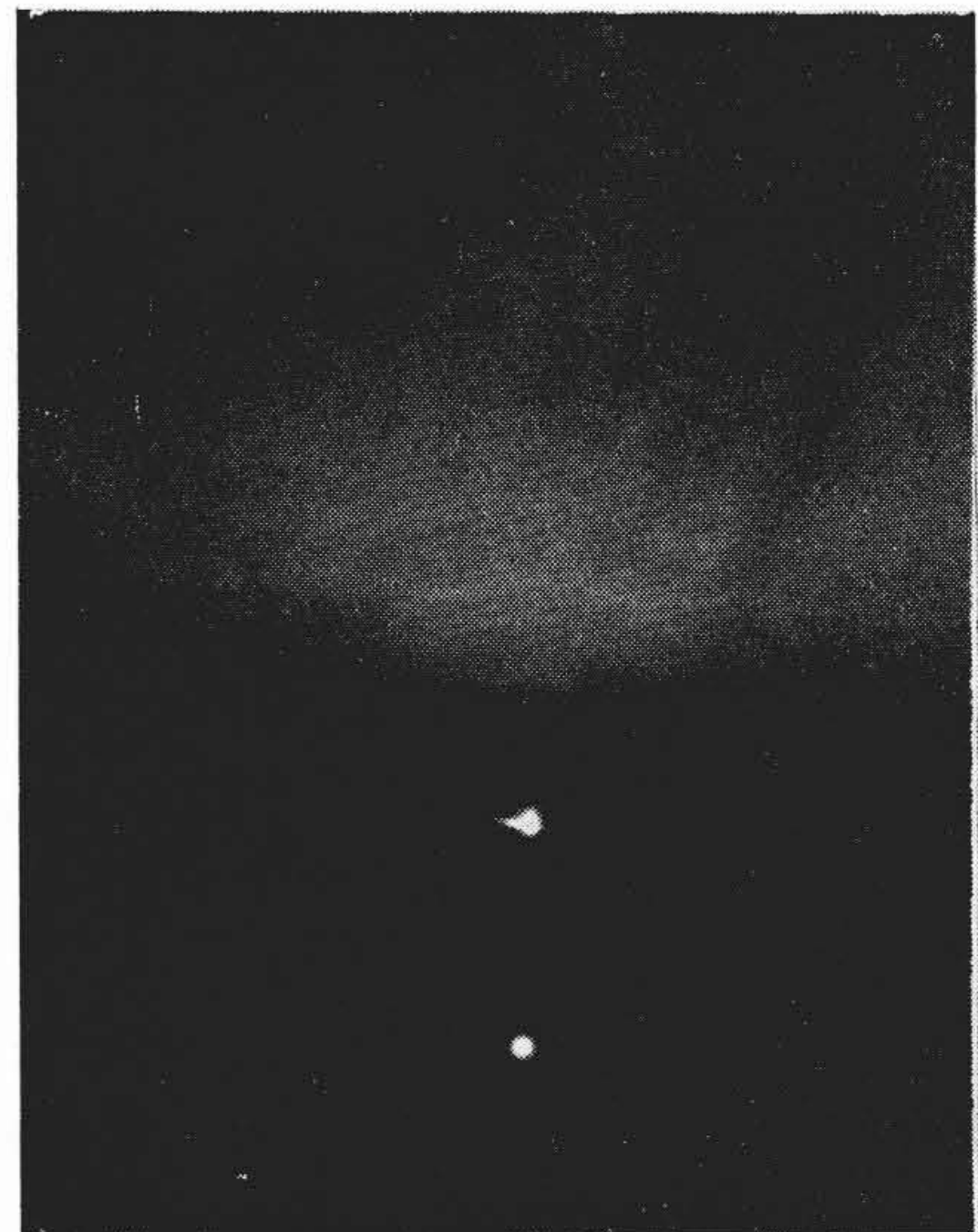
AS線は亜鉛メッキ鋼線の上にアルミを連続的に圧接したものである。

第1,2図はそれぞれAS線の横断面および圧接界面近傍の顕微鏡組織を示す。これらの図よりわかるようにアルミと亜鉛は完全に一体となっているように見受けられるが、より詳細な検討を行うために圧接界面近傍の電子回折を行うこととした。この場合亜鉛は溶融メッキ法により鋼上に付着させたものであるから亜鉛と鋼は相互に拡散現象を起し完全に一体となっている。したがって問題となるのはアルミと亜鉛間の拡散の有無である。

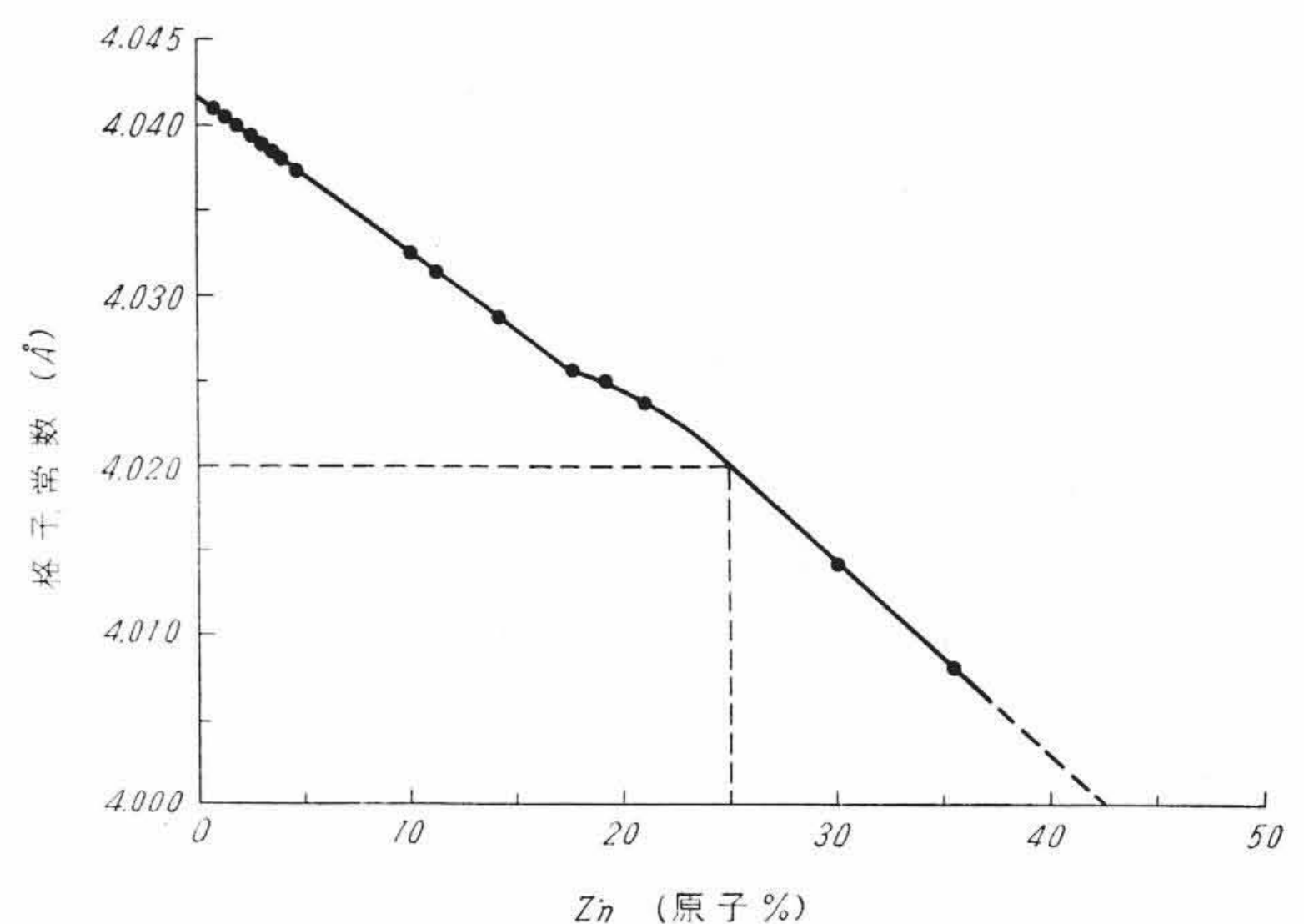
電子回折装置としては日立製 ED-C 形カメラを使用した。供試片としては 3.2 (0.35) AS線 (3.2 は外径(mm)を、0.35 は標準アル

第1表 AS線の圧接界面近傍の電子回折結果

| 試 番 | 回 折 場 所      | 測定した格子定数 A        |                  |
|-----|--------------|-------------------|------------------|
|     |              | Al                | Zn               |
| 1   | アルミ側         | 4.06 <sub>2</sub> | —                |
| 2   | アルミ側         | 4.05 <sub>8</sub> | —                |
| 3   | アルミ側         | 4.05 <sub>3</sub> | —                |
| 4   | アルミ側         | 4.05 <sub>0</sub> | —                |
| 5   | アルミ側(圧接界面近傍) | 4.02 <sub>3</sub> | —                |
| 6   | 亜鉛側          | —                 | (a 2.66, c 4.94) |



第4図 電子回折写真



第5図 AlにZnが固溶した場合の格子常数変化

ミ厚(mm)を示す)を用い、任意に選んだ供試片10本につき電子回折を行った。

第3図は電子回折を行った場所を示す。

回折方法としてはアルミ側から腐食剤により微量ずつ腐刻を行い、その都度回折写真を撮影した。

試験結果はいずれの場合も同様な結果を示した。

第1表は実験結果の一例を、また第4図は試番5についての電子回折写真を示す。

第1表よりわかるようにアルミを腐刻して亜鉛側に近づくとアルミの格子常数は漸次減少し、圧接界面近傍では 4.02 Å という値を示した。

第5図はアルミ中に亜鉛が固溶した場合の格子常数<sup>(14)</sup>の変化を示したものである。

第1表に示した値を第5図から求め測定誤差を考慮してみると 20~30 原子% (38~52 重量%) の亜鉛がアルミ中に拡散し、固溶していることが判明した。なお亜鉛側は結晶構造が稠密六方格子で複雑なため解析困難であった。



第2表 3.2(0.35) A S 線の一般的性能

| 試験項目                                | 測定値                   | 規格値               | 備考                           |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------|
| (A) 引張強さ<br>( $\text{kg/mm}^2$ )    | 122 (121~123)         | 引張り荷重:<br>>936 kg |                              |
| (A) 伸 び<br>(%)                      | 4.5 (4.2~5.2)         | > 1%              |                              |
| (B) 導 電 率<br>(IACS%)                | 29.5(29.0~29.8)       | >25.7%            |                              |
| (C) 比 重                             | 5.81(5.74~5.85)       | 規定せず              |                              |
| (D) ねん回値<br>(回)                     | 32 (29~33)            | >16               |                              |
| (E) 巻 付 け                           | はく離その他異<br>状なし        | 規定せず              |                              |
| (F) 巻付け巻戻し                          | はく離その他異<br>状なし        | 規定せず              |                              |
| (G) 表面かたさ<br>(Hv)                   | 45.0(43~47)           | 規定せず              | 普通のアルミ線<br>: 44.5            |
| (H) 押しつぶし<br>はく離                    | 7 t かけても異<br>常なし      | 規定せず              | 押しつぶし試験後の厚さ<br>: 2.07~2.31mm |
| (I) 繰り返し曲<br>げ回数(回)                 | 210 (200~300)         | 規定せず              |                              |
| (J) 衝 撃 値<br>( $\text{kg-m/cm}^2$ ) | 28.4                  | 規定せず              | 曲がるだけで異常なし                   |
| (K) ヒートサイ<br>クル                     | 異 常 な し               | 規定せず              | 曲がったり端面に凹凸を<br>生ずるようなことはない   |
| (L) 熱膨脹係数<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | $11.6 \times 10^{-6}$ | 規定せず              |                              |
| (M) 弾性係数<br>( $\text{kg/mm}^2$ )    | $1.23 \times 10^4$    | 規定せず              |                              |
| (N) 減衰定数<br>( $\text{sec}^{-1}$ )   | 0.347                 | 規定せず              | 35 c/s で測定                   |

以上の実験結果から圧接界面に相互原子の拡散が行われていることが明確になったので、アルミと亜鉛は完全に圧接され一体となっていること、すなわちアルミは亜鉛メッキ鋼線上に単に付着しているのではなく一体化していることがわかる。

### 3. AS 線の一般的性能

A S 線は、アルミと鋼線径を種々変化させることができる大きな特長があるので、導電率、引張り強さを適当にすることが可能である。したがってその性能は個々の場合について異なってくることは当然である。ここでは一例として電気用アルミ (99.76% Al) と特強鋼線 (0.8% C) を用いて製造した 3.2(0.35) A S 線についてその性能を調べるために種々の実験を行った。

#### (1) 試験項目および試験方法

##### (a) 引張り強さ、伸び

リーレー形万能試験機を用い、標点距離 250mm で測定を行った。

##### (b) 電気抵抗(導電率)

20°Cの値をダブルブリッジ法により測定した。

##### (c) 比重

10mの供試線につき重量法により測定した。

##### (d) ねん回

1 端を固定し、他端をねん回して破断するまでの値およびはく離その他の異常の有無を調べた。なおチャック間の距離は線径の 100 倍とした。

##### (e) 巻付け

自己径の15倍の円筒に 6 回巻付け異常の有無を調べた。

##### (f) 巻付け巻戻し

自己径に 8 回巻付け、巻戻したあと異常の有無を調べた。

##### (g) 表面かたさ

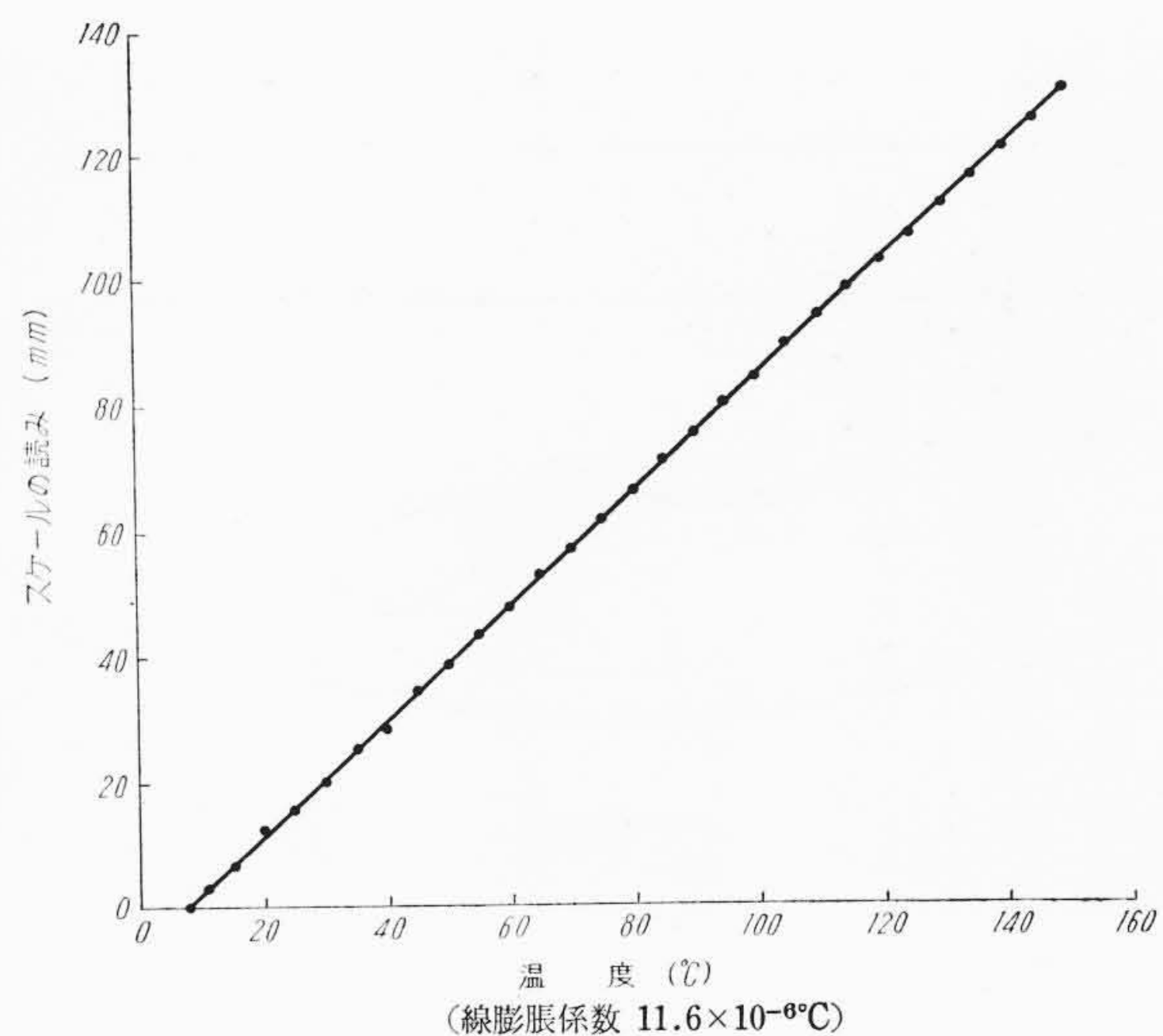
明石製微少かたさ計(荷重 200 g)を用いて供試材 5 本につき、それぞれ円周方向に10カ所のかたさを測定した。

##### (h) 押しつぶしはく離

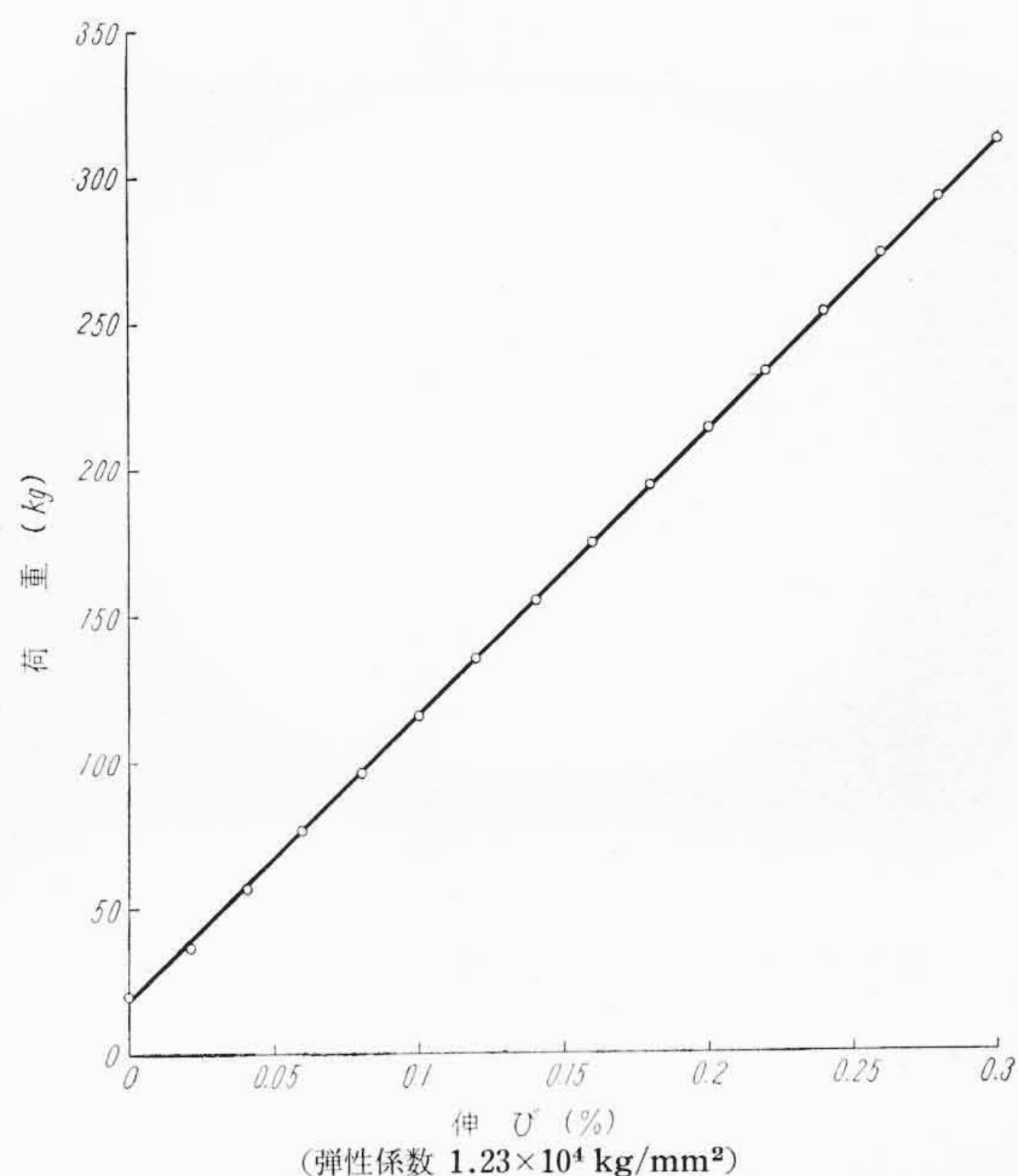
リーレー形万能試験機を用い30mmの長さの A S 線の圧縮試験を行い鋼線とアルミがはく離する荷重および変形量を求めた。

##### (i) 繰返し曲げ試験

50mm R のチャックに A S 線をはさみアルミ層にクラックが発生するまでの回数を求めた。破断回数の数え方は90度で 1 回、原位置に戻して 2 回、反対方向に曲げて 3 回、原位置に戻して 4 回



第6図 A S 線の熱膨脹曲線



第7図 A S 線の荷重—伸び線図

とした。

##### (j) 衝撃

55mmの試験片を用いシャルピ試験機により衝撃値を求めた。この場合の持上げ角は60度である。

##### (k) ヒートサイクル

80mmの試験片につき常温ならびに 150°C にそれぞれ10分保持する試験を50回繰返し、異常の有無を調べた。

#### (1) 熱膨脹係数

常温から 150°C までの熱膨脹曲線を本多、佐藤式デイトメータにより測定し、その結果より熱膨脹係数を算出した。

#### (m) 弾性係数

振動法および X-Y 記録計による精密な荷重と伸びの関係を求める方法により実測した。

#### (n) 減衰定数

供試線に自由振動を与えその振幅の半減期より減衰定数を求めた。

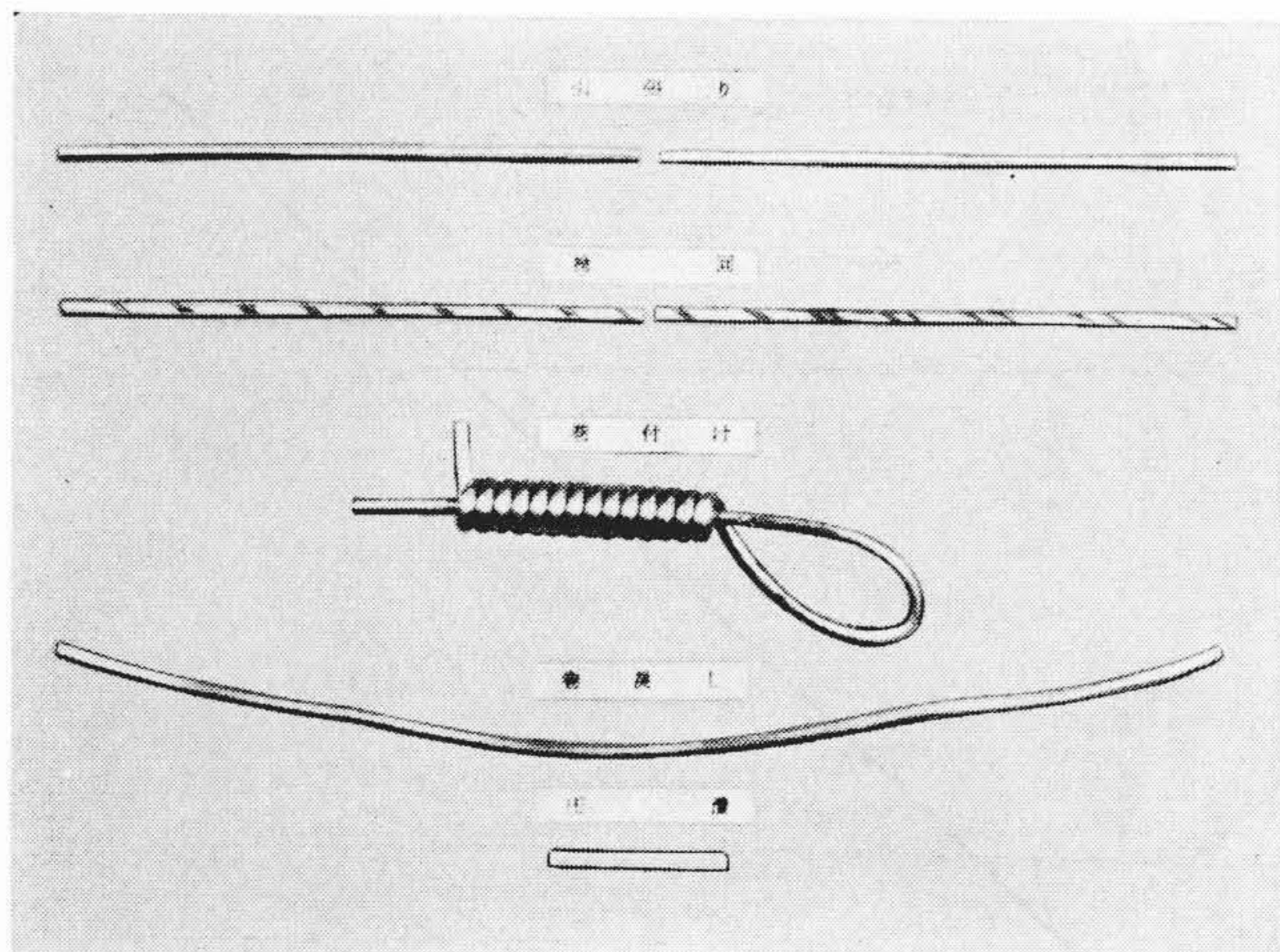
#### (2) 実験結果

第2表は上記試験結果を総括したものである。なお測定値は20本の平均値であり( )内は最大値、最小値を示す。

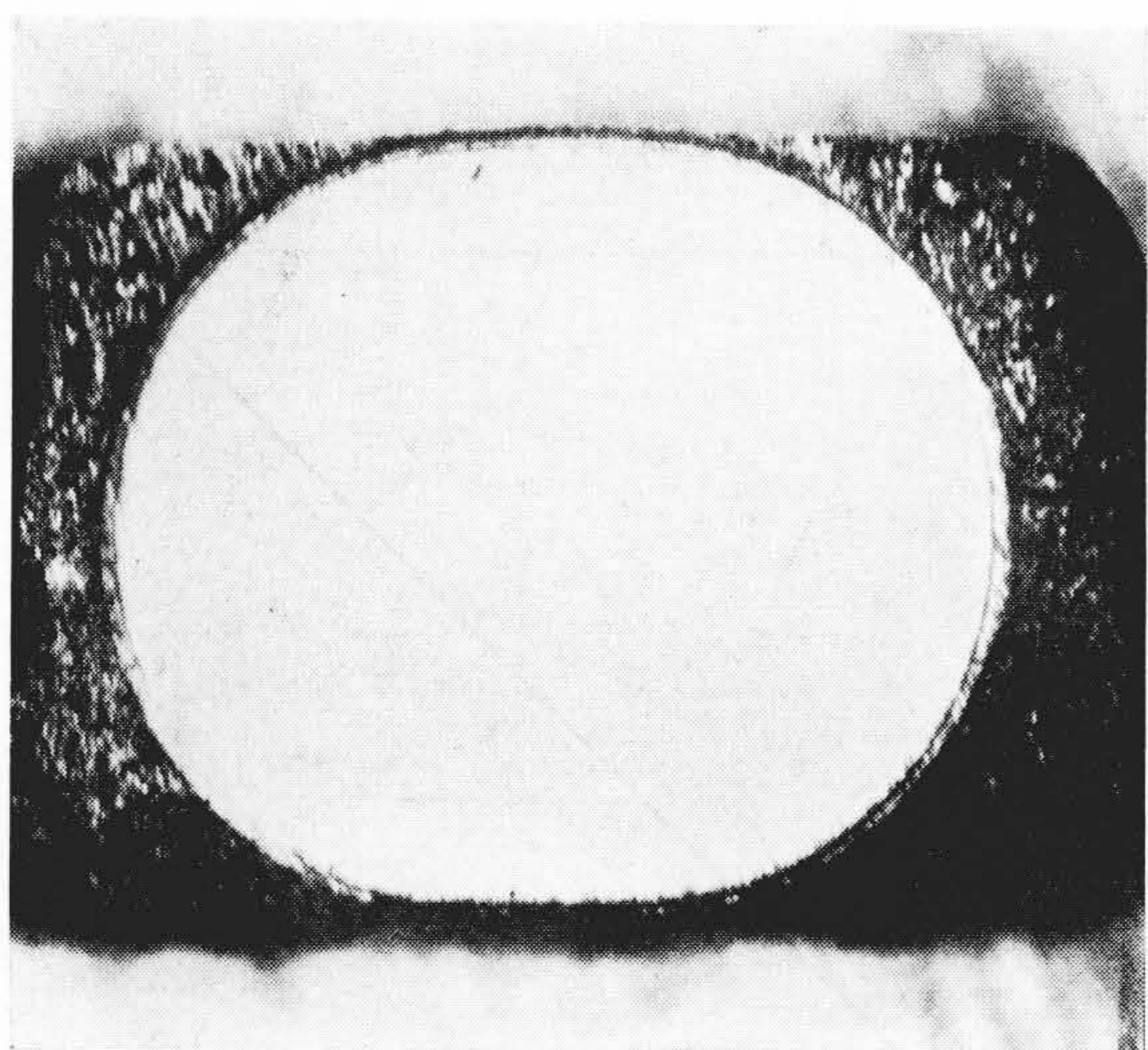
第6図は A S 線の熱膨脹曲線を示す。

第7図は X-Y 記録計により測定した A S 線の荷重—伸び線図を





第8図 引張り、ねん回、巻付け巻戻し試験後の外観



第9図 押しつぶしはく離試験後の横断面写真

示す。

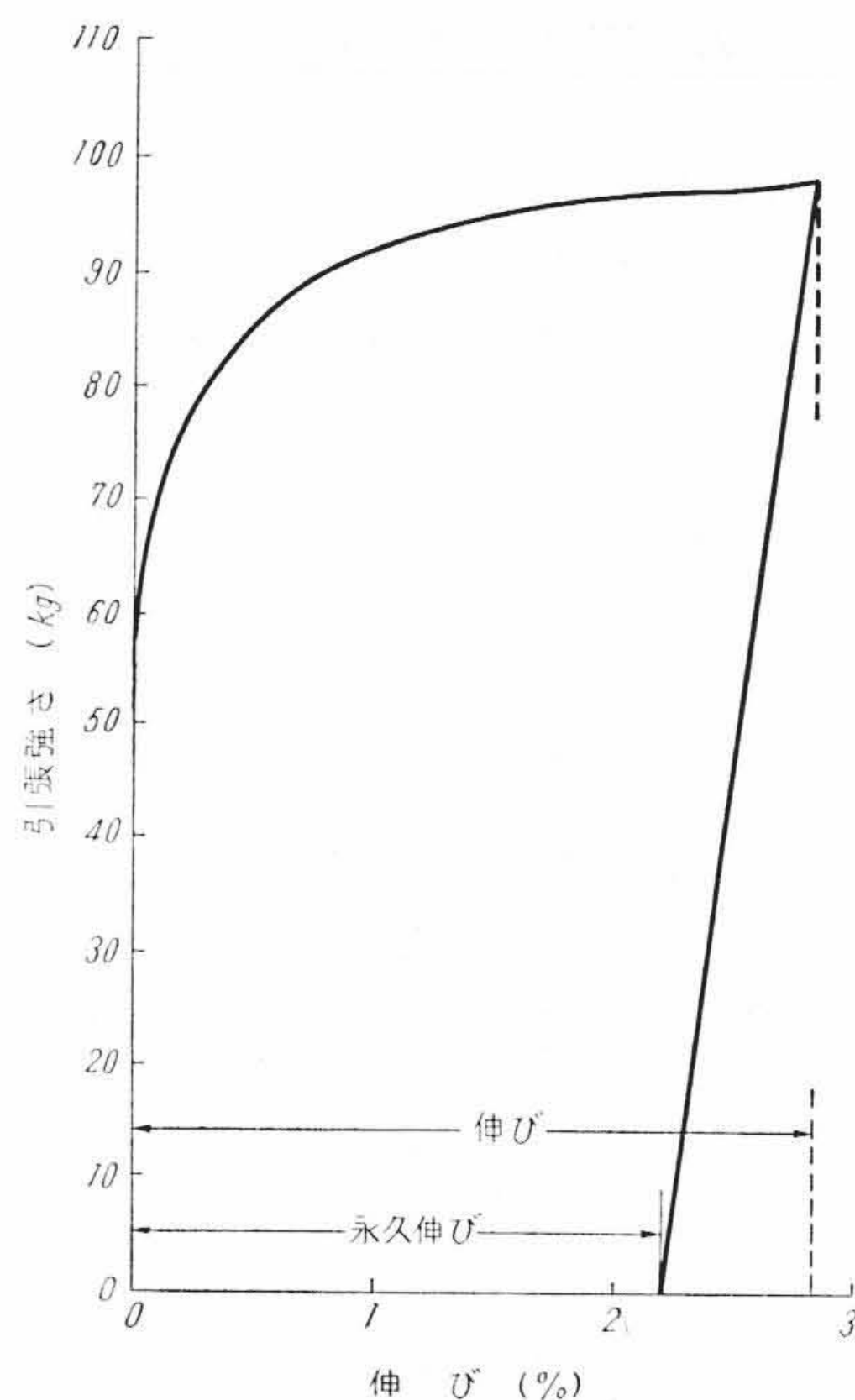
第8図は引張り、ねん回、巻付け巻戻し試験後の外観を示す。第8図からわかるように、引張りおよびねん回試験ではアルミと亜鉛メッキ鋼線は同時に切断し、巻付け巻戻し試験ではアルミがはく離するようなことはない。

第9図は押しつぶしはく離試験後の外観を示したもので、亜鉛メッキ鋼線はすでに変形しているがはく離は認められない。

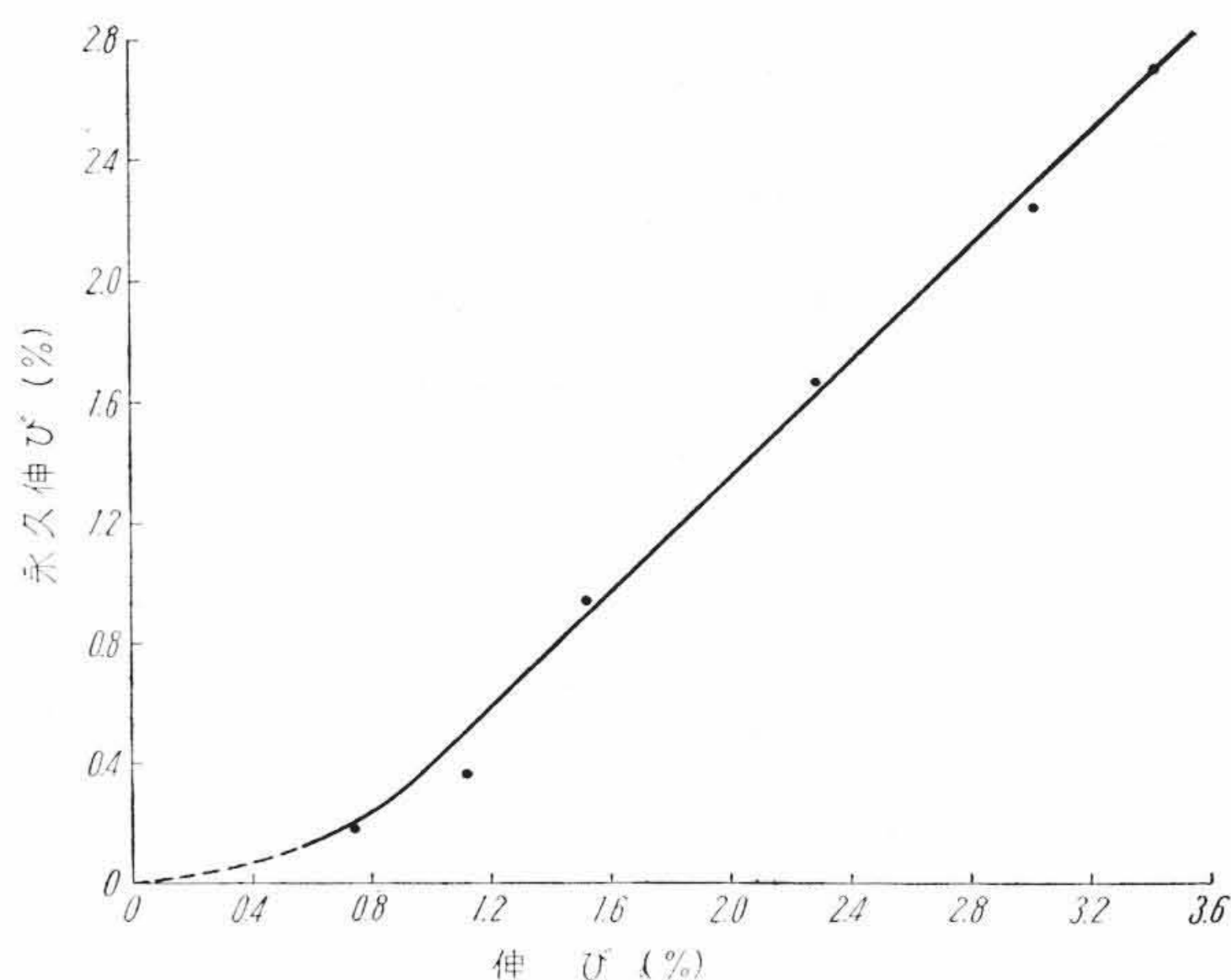
熱膨脹係数は、鋼線の値にほとんど近い値を示しているが、これはアルミ層が0.35mmという薄い層であったためであり、鋼線が細くアルミ層が厚い場合は当然アルミと鋼の中間の値となる。

弾性係数値は、複合体としての計算値にほぼ近い値を示している。また減衰定数は、振動疲労の問題と大きな関係があるので測定したが、亜鉛メッキ鋼線の  $0.167 \text{ s}^{-1}$  に対し約2倍の値を示し、AS線自体減衰性が大きいことがわかる。

以上の測定結果からわかるようにAS線は、アルミ層と亜鉛メッキ鋼線が完全に一体となっているため、種々の過酷な機械的試験を行っても良好な結果を示している。また加工工程により素材となる亜鉛メッキ鋼線の引張り強さを弱めることなく向上できる特長がある。上記の試験項目に耐食性試験を含んでないが、AS線では表面に存在するアルミ層は普通の電気用アルミそのものであり、したがってアルミと同等の耐食性をもつことが明らかである。なおAS線について1年間塩水噴霧試験(噴霧8時間、停止16時間20%食塩水で槽内温度は35°C)を行ってみたが、なんら異常な腐食は認められなかった。



第10図 AS線の荷重—伸び曲線



第11図 AS線の伸びと永久伸びとの関係

#### 4. AS線の特殊性能

AS線は新しく開発された線種であるので、複合線としての特殊性能について実験する必要がある。そこで、使用上問題となる伸びと永久伸びとの関係、高温特性、耐疲労性、耐クリープ性などについて実験を行ない、実用各種線材と比較した。

##### (1) 伸びと永久伸びとの関係

AS線の伸びと永久伸びとの関係を求めておくことは送電線設計上必要なことと思われるので簡単な実験を行なった。

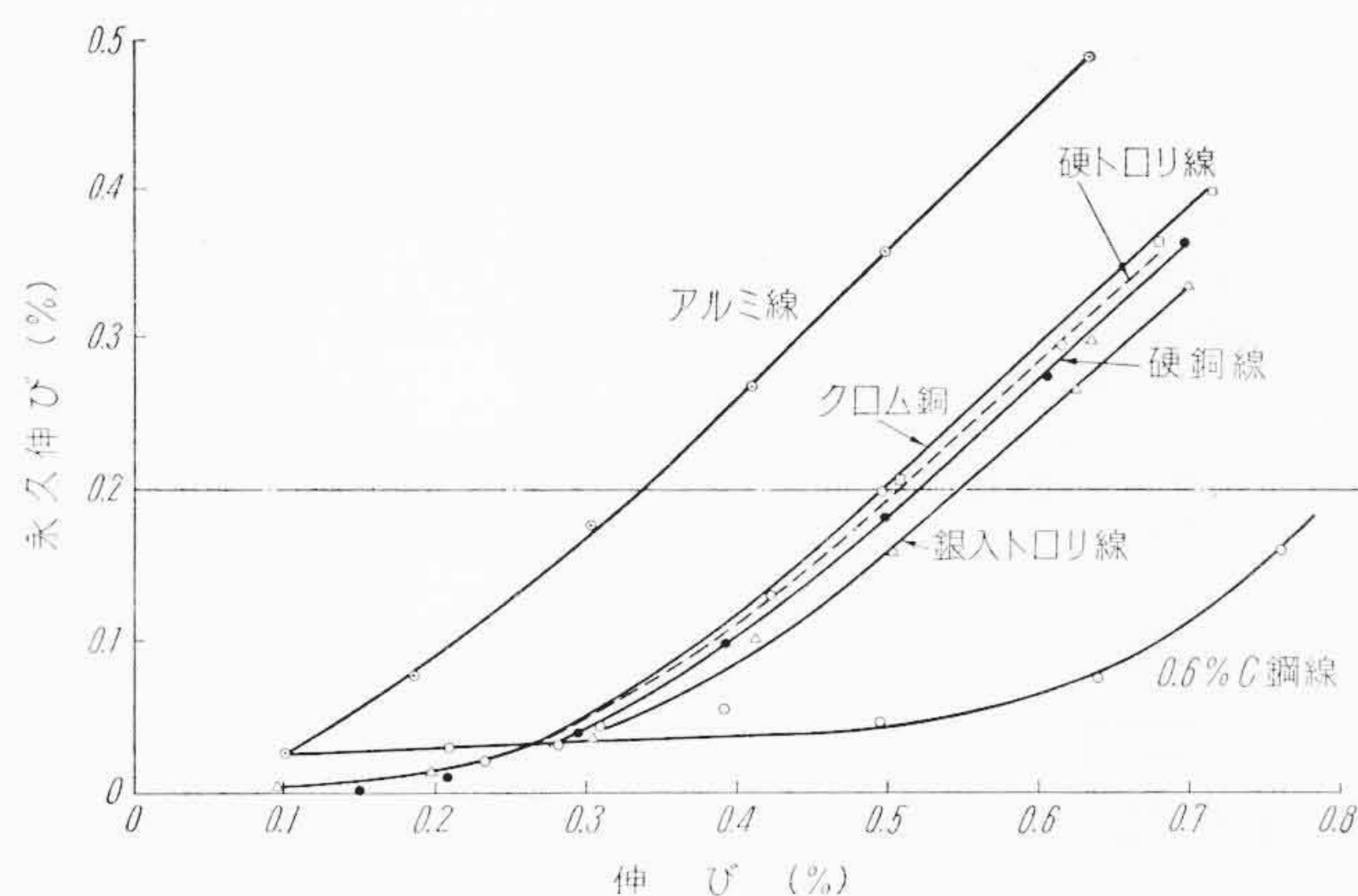
供試材としては特強鋼線を用いた3.2(0.35)AS線でこの線材の破断荷重は1,015~1,020 kg、伸びは5.0~5.2%である。実験方法としてはリーレー形万能引張り試験機を用い、特に改造したX-Y記録計により荷重—伸び曲線を求めた。

第10図はAS線の荷重—伸び曲線の一例を示す。この図より伸びと永久伸びとの関係がわかる。

第11図は第10図で得た方法により伸びと永久伸びの関係をまとめたものである。

上記の実験結果から永久伸び0.5%以上の場合は、伸びと永久伸びとの関係はほぼ直線的となり、たとえば永久伸び1.5%の場合の伸びは約2.2%となる。

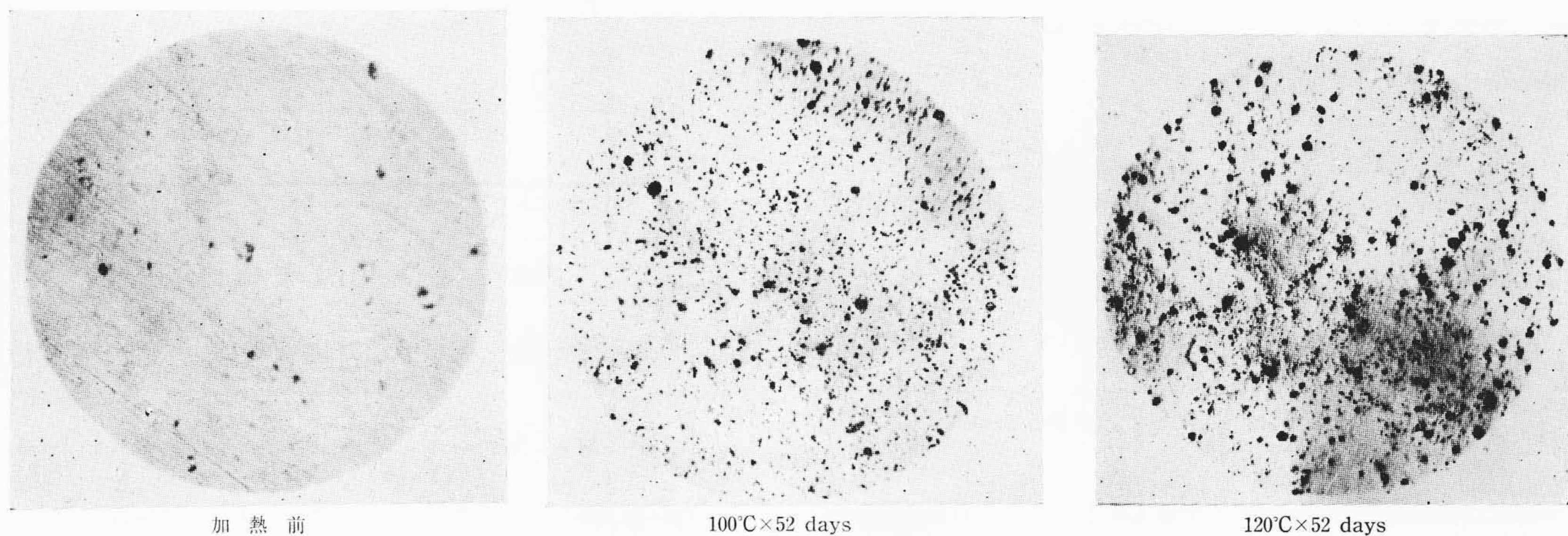




第12図 各種線材の伸びと永久伸びとの関係

第3表 各種線材の高温特性  
(50日間連続加熱による性能変化率(%))

| 項目                          | AS線     |      | イ号アルミ合金線                                                       |       | 特別亜鉛メッキ鋼線 |       |
|-----------------------------|---------|------|----------------------------------------------------------------|-------|-----------|-------|
| 加熱温度(°C)                    | 100     | 120  | 100                                                            | 120   | 100       | 120   |
| 引張り荷重                       | -2.9    | -3.4 | -15.5                                                          | -26.1 | -0.9      | -1.0  |
| 伸び                          | +3.0    | +3.0 | -57.5                                                          | -70.0 | -9.1      | -10.0 |
| 導電率                         | +4.0    | +4.0 | +2.8                                                           | -6.9  | -2.7      | -2.7  |
| 疲労限<br>( $1 \times 10^7$ 回) | <-10    | <-10 | -15                                                            | -27   | ほとんど変化しない |       |
| 耐食性                         | 若干良好となる |      | AS線より悪い<br>Mg <sub>2</sub> Siの凝集<br>があること加熱<br>前の約1/3に低下<br>する |       | ほとんど変化しない |       |



第13図 イ号アルミ合金線の長期間加熱による組織変化(×400)

第12図は各種線材について伸びと永久伸びとの関係を実測した結果を示す。この図から弾性限の高い材料ほど一定の永久伸びを生ずる伸びの値が大きいが、この傾向は永久伸びが小さい値の範囲内の問題であり、永久伸びが大きくなると伸びと永久伸びとの関係はほぼ直線的となり両者の差異は小さいことがわかる。

### (2) 高温特性

AS線を使用する場合、その使用状況によって100°C、または120°Cの比較的高温にさらされる危険性がある。この場合の性能変化についてイ号アルミ合金線、特強亜鉛メッキ鋼線と比較実験を行った。

供試材はいずれも3.2mmφのイ号アルミ合金線、特強亜鉛メッキ鋼線(0.8%C)および3.2(0.35)AS線である。

第3表は100°Cおよび120°Cに50日間連続加熱した場合の性能変化率を実験結果よりまとめたものである。

第3表よりわかるようにAS線の諸性能は、特強亜鉛メッキ鋼線と同様に加熱によりほとんどその諸性能は変化しない。これに対しイ号アルミ合金線では引張り荷重、伸び、疲労限および耐食性に著しい低下がみとめられる。

第13図はイ号アルミ合金の加熱試験前後の顕微鏡組織を示す。この顕微鏡組織からも容易に推察されるように微細に析出していたMg<sub>2</sub>Siが加熱により凝集、粗大化するためその諸性能が劣化するのである。なお疲労限の測定にはヘイ・ロバートソン式疲労試験機を使用した。

### (3) 耐疲労性

線材の疲労試験には大別してひずみ一定形と応力一定形の2種の試験機が使用されている。ヘイ・ロバートソン式は前者に属し、シュベニング式および中村式は後者に属するものである。

疲労試験は周知のようにその試験する試験機により疲労限の値が異なってくる。したがって本試験では3種の試験機すべてを使用した。また、非鉄金属の場合は、一定の疲労限が鉄鋼の場合のように明確にでないので、一般に、 $1 \times 10^7$ 回における限定疲労限(耐久限)を求めることにした。なお繰返し応力の算定に使用するヤング率の値は亜鉛メッキ鋼線21,000 kg/mm<sup>2</sup>、イ号アルミ合金線6,700 kg/mm<sup>2</sup>、アルミ6,300 kg/mm<sup>2</sup>、銅12,000 kg/mm<sup>2</sup>とした。

### (a) 供試材

直径3.2mmφの特強亜鉛メッキ鋼線、イ号アルミ合金線、カップアーウェルド線および3.2(0.35)AS線、3.2(0.3)AS線を試験に供した。またニッキングの疲労に対する切欠効果を調べるため亜鉛メッキ鋼線とイ号アルミ合金線を30度で交ささせ圧力を加え、イ号アルミ合金線に0.2mm(荷重180 kg)の凹みをつけた。次にこれと同等な圧力を同じように交ささせたAS線とAS線またはAS線と亜鉛メッキ鋼線に加え凹みを印した。この場合イ号アルミ合金線の凹みはAS線のそれよりも鋭くなっていた。これらの凹みのついた線材を用いてニッキングを起した場合の疲労試験と想定した。この凹みが、ヘイ・ロバートソン式疲労試験において最大曲げひずみを生ずる場所にして試験を行った。

第4表は供試材の諸性質を示す。

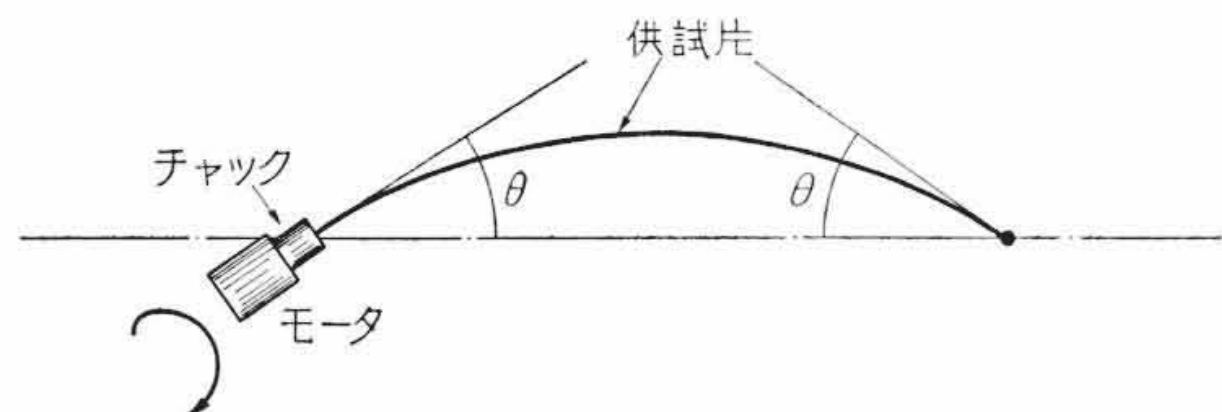
### (b) 試験方法

第14図はヘイ・ロバートソン式疲労試験機の説明図である。この試験機では試験片の軸方向に圧縮荷重を加え、試験片を弓状に曲げ中央部に最大曲げ応力がかかるようにしてある。このため非常にわずかであるが、試験片に軸方向の圧縮応力が作用する欠点がある。なおひずみ一定形の試験機であるため疲労変形による

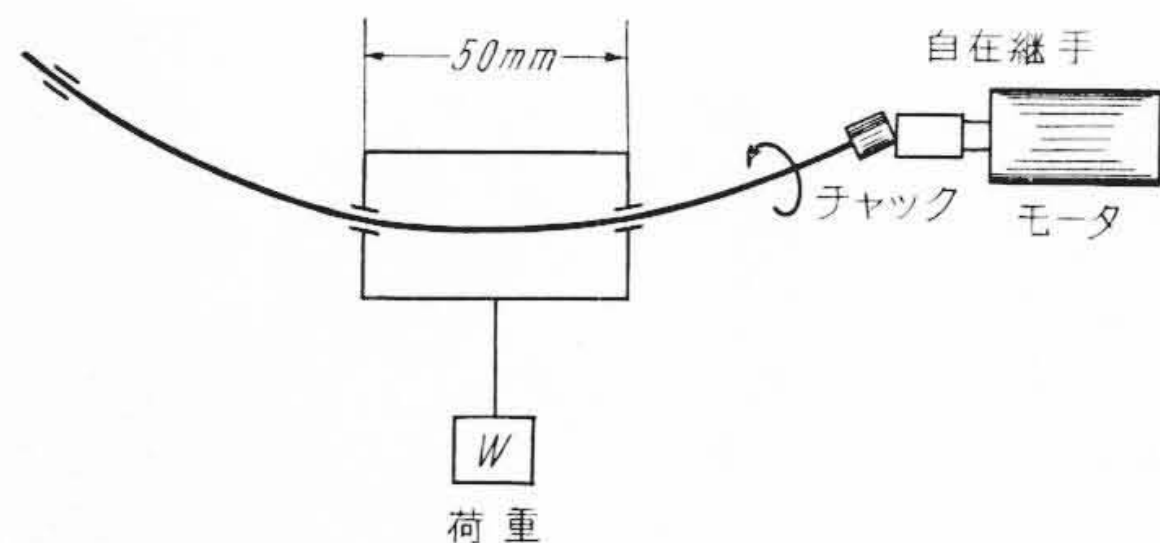


第4表 供試材の諸性質

| 供試材                | 引張り強さ<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | 伸び<br>(%) | 導電率<br>(%) | 被覆厚<br>(mm) |
|--------------------|--------------------------------|-----------|------------|-------------|
| 亜鉛メッキ鋼線            | 18.2                           | 4.2       | 9.33       | —           |
| 銅バネ線               | 97.7                           | 1.8       | 40.1       | 0.30~0.52   |
| イ号合金線              | 36.2                           | 7.2       | 53.5       | —           |
| AS線 (Al厚さ: 0.25mm) | 133.5                          | 2.6       | 26.1       | 0.24~0.28   |
| AS線 (Al厚さ: 0.35mm) | 132.0                          | 2.8       | 27.0       | 0.28~0.34   |



第14図 ヘイ・ロバートソン式疲労試験機の説明図



第15図 シュベニング式疲労試験機の説明図

試験片の弾性係数  $E$  が変化する影響もあるので、この試験機を用いて疲労曲線を求める場合にはひずみと繰返し曲げ回数との関係を示した。

ヘイ・ロバートソン式疲労試験機において最大曲げひずみは次式で示される。

$$\varepsilon = \frac{\pi^2}{360} \theta \cdot \frac{d}{L}$$

ただし  $\varepsilon$  : ひずみ

$\theta$  : 曲げ角度(°)

$d$  : 試験片の直径 (3.2mmφ)

$L$  : 試験片の長さ (300mm)

第15, 16図はそれぞれシュベニング式および中村式試験機の説明図である。

シュベニング式試験機の回転力伝達機構は、自在継手によるが、中村式ではヘイ・ロバートソン式と同じである。負荷装置は両者とも同様であるが、その負荷部分はシュベニング式では50mm、中村式では200mmである。試験速度はシュベニング式では1,400 rpm、中村式では高速の場合の一例として4,000 rpmを採用し、また実際の送電線の振動は30c/s以下であることを考慮に入れて2,000 rpmの場合についても試験した。

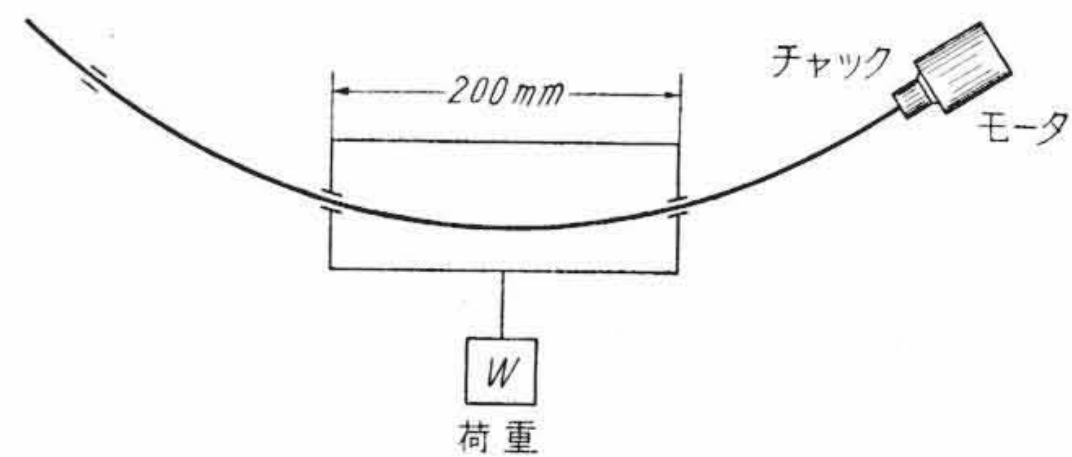
AS線は亜鉛メッキ鋼線の上にアルミを圧接しているのでその内部における応力分布を測定するのはなかなか困難である。

第17図はAS線内部の応力分布の算定図であり、一応図に示したような応力分布を示すものと考えて算定した。

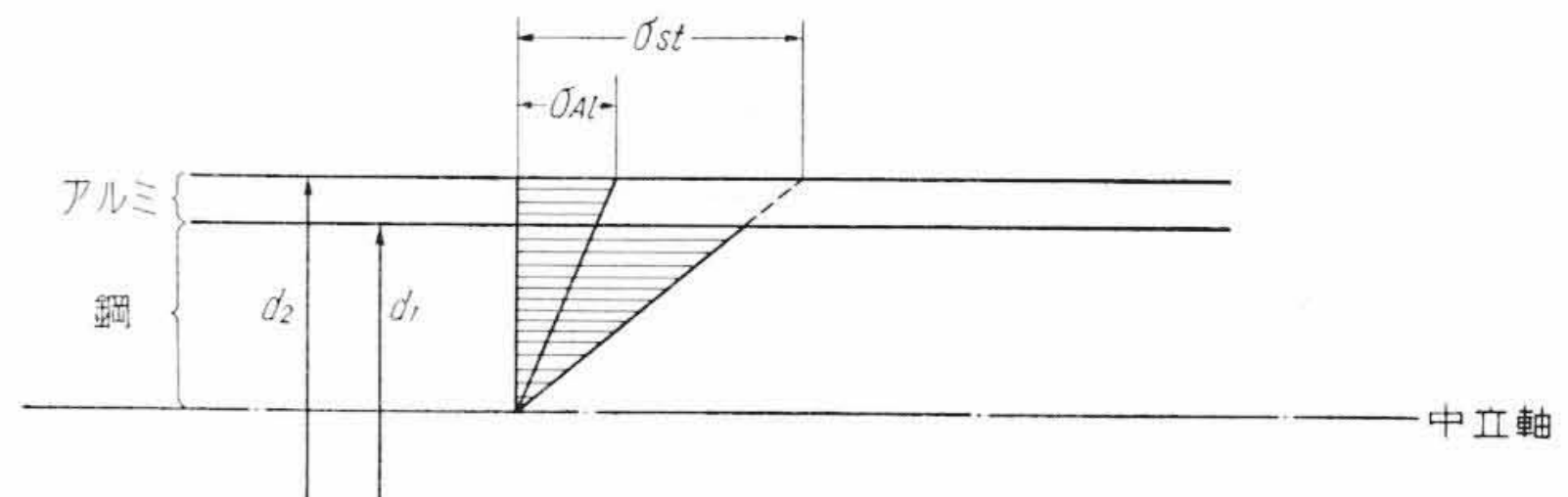
アルミおよび亜鉛メッキ鋼線に与えられる曲げモーメントをそれぞれ  $M_{Al}$ 、 $M_{St}$  とすれば

$$M_{Al} = Z_{Al} \cdot \sigma_{Al} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \sigma_{Al}$$

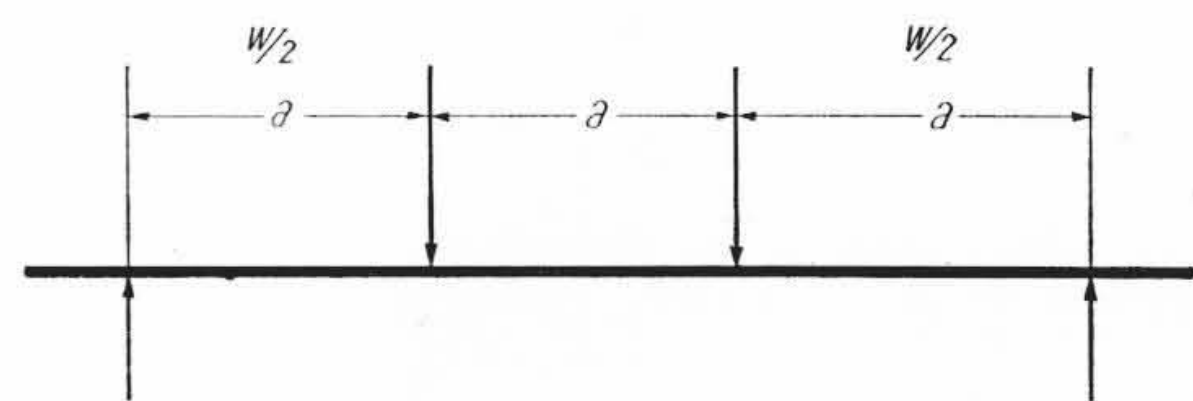
$$M_{St} = Z_{St} \cdot \sigma_{St} = \frac{\pi d_1^3}{32} \cdot \frac{d_1}{d_2} \sigma_{St} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_1^4}{d_2} \sigma_{St}$$



第16図 中村式疲労試験機の説明図



第17図 AS線内部の応力分布算定図



第18図 負荷装置説明図

したがって供試材全体に与えられる曲げモーメントを  $M$  とすれば

$$M = M_{Al} + M_{St} = \frac{1}{32} \cdot \frac{1}{d_2} [(d_2^4 - d_1^4) \sigma_{Al} + d_1^4 \cdot \sigma_{St}]$$

アルミ、鋼のヤング率をそれぞれ  $E_{Al}$ 、 $E_{St}$  とすれば

$$\sigma_{St} = \frac{E_{St}}{E_{Al}} \cdot \sigma_{Al} = \frac{10}{3} \sigma_{Al}$$

$$M = \frac{\pi \sigma_{Al}}{32 d_2} \left( d_2^4 + \frac{7}{3} d_1^4 \right)$$

実測値より  $d_2 = 3.19\text{mm}$ 、 $d_1 = 2.6\text{mm}$  の場合を例にとれば

$$M \approx 6.47 \sigma_{Al} \text{ (kg} \cdot \text{mm)}$$

第18図は負荷装置の説明図である。

中村式の場合は、 $a = 200\text{mm}$  であるので

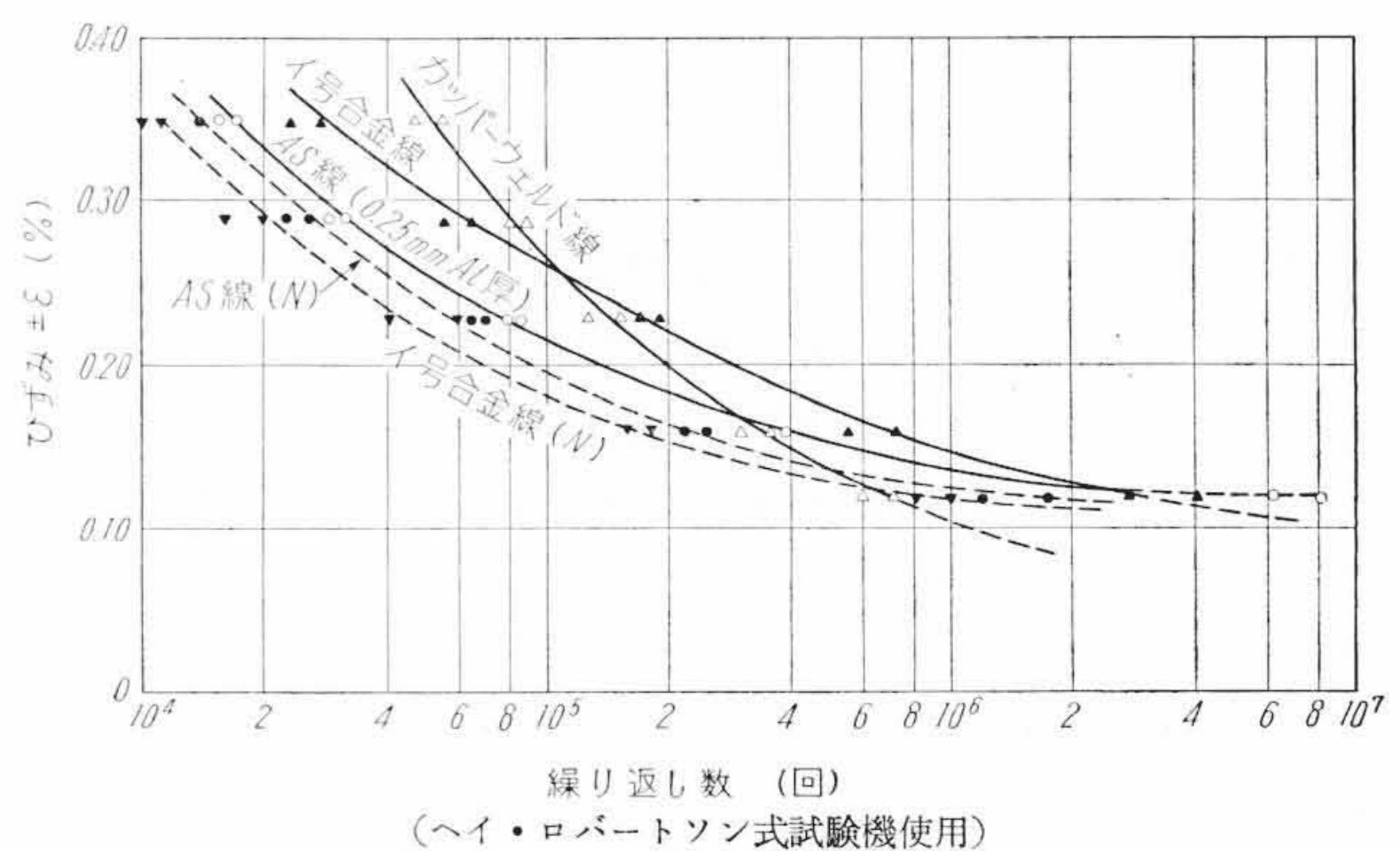
$$M = a \times \frac{W}{2} = 100W$$

$$\therefore \sigma_{Al} = \frac{100W}{6.47} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

### (c) 実験結果

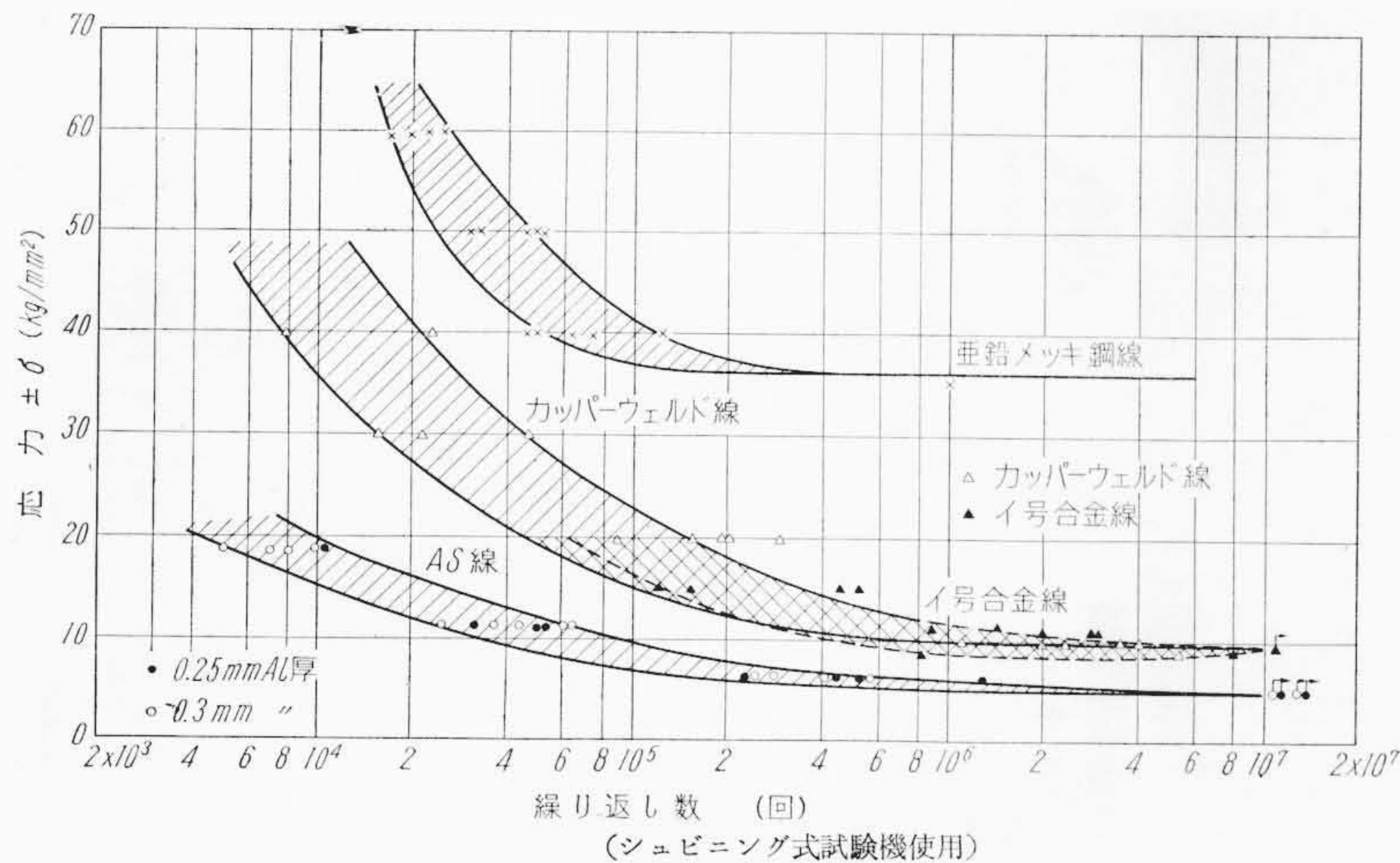
第19～22図は各種疲労試験機による実験結果を示す。

第5表は各種疲労試験機による  $1 \times 10^7$  回における限定疲労限をまとめたものである。

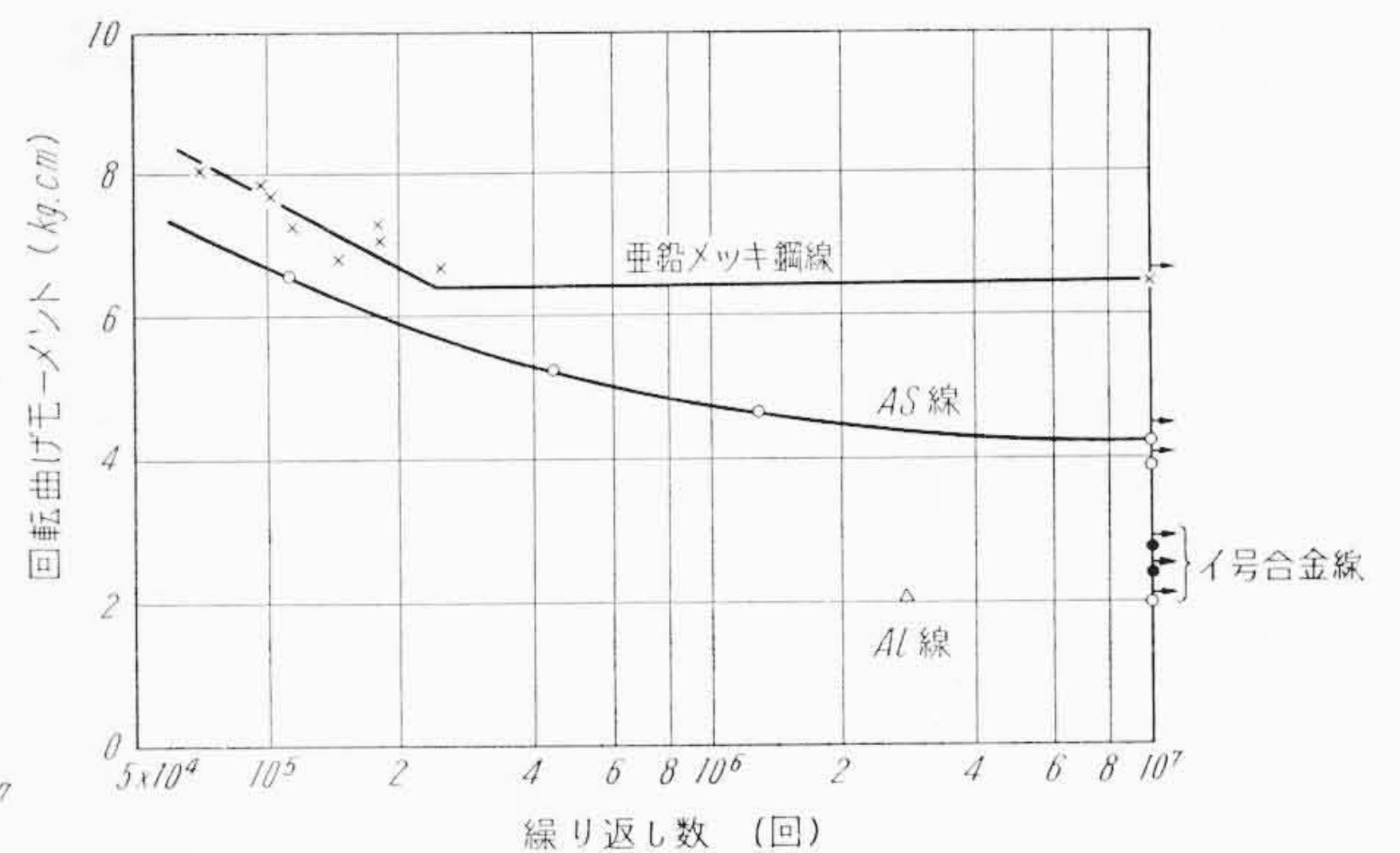
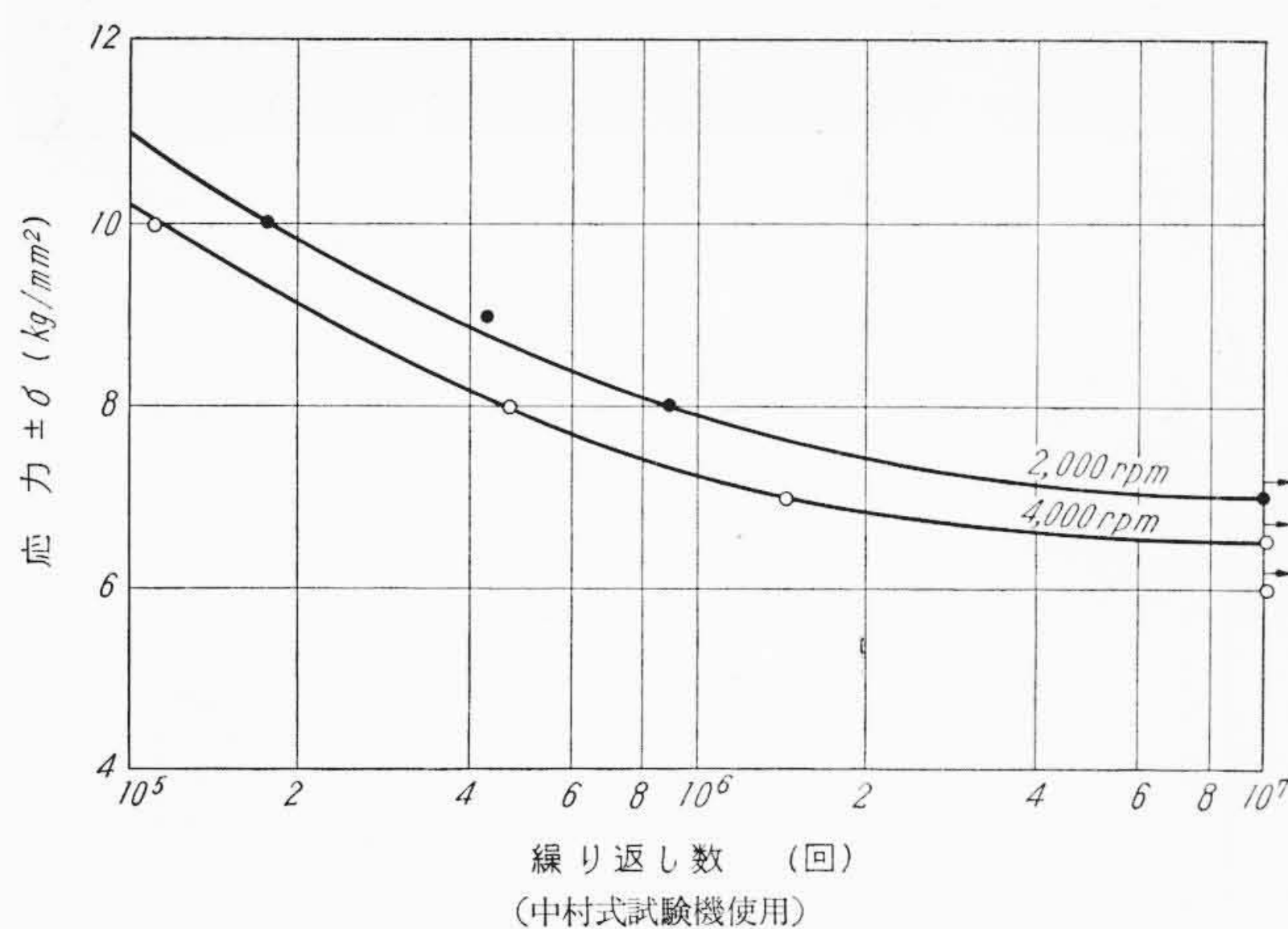


第19図 供試材の疲労曲線





第20図 供試材の疲労曲線

第21図 回転曲げモーメントと繰返し数との関係  
(中村式試験機使用、試験速度：4,000 rpm)第22図 AS線の疲労曲線  
(中村式試験機使用)

第5表 各種線材の疲労限 (1×10⁷回の耐久限)

| 項目              | AS線                               | イ号アルミ合金線             | 特強亜鉛メッキ鋼線  | カッパーウェルド線 |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------|------------|-----------|
| シュベニング式または中村式   | ±7 kg/mm²                         | ±9 kg/mm²            | ±36 kg/mm² | ±9 kg/mm² |
| ヘイ・ロバートソン式      | ±0.12%                            | ±0.105%              | ±0.18%     | <±0.10%   |
| ニッキングによる疲労限の低下率 | AS線同志<br>:<10%<br>AS線と鋼線<br>:<10% | イ号アルミ合金線と鋼線<br>:<14% | —          | —         |

第5表からわかるように疲労限は応力一定形の場合と、ひずみ一定形の場合とでは必ずしもその傾向が一致せず、前者の場合には、イ号アルミ合金線がAS線よりも良好であるが、後者の場合には逆の結果を示している。これは前述したように試験機による差異のためであり、また疲労試験自体がもっと多数の試験を繰返すことにより統計的に扱う必要があることから早急に結論を下すことはできないが、大体の傾向はつかむことができると思われる。なお実際の場合にはクランプ近傍の疲労を考えると、ひずみから論議するのが妥当と思われる。この点から考えるとAS線の方がむしろイ号アルミ合金線よりも耐疲労性が良好ともいえる。

ニッキングの耐疲労性におよぼす影響も実際には相当問題となることであり、この実験結果からAS線の場合とイ号アルミ合金線の場合に差異が認められるのはニッキングによる凹みの形状がイ号アルミ合金線の場合はAS線の場合に比較して切欠効果が大きいと思われる。

#### (4) 耐クリープ性

常温における各種線材のクリープ限を知ることは設計上重要で

第6表 供試材に負荷した引張り応力

| 供試材       | 引張り応力 kg/mm² |
|-----------|--------------|
| アルミ線      | 10.0         |
| イ号アルミ合金線  | 14.6         |
| 特強亜鉛メッキ鋼線 | 71.0         |
| AS線       | 71.0*        |

\* アルミを考慮に入らず、鋼心のみを考えたこの応力をかけた。

あるので、AS線とその他の材料について簡単な実験を行った。

#### (a) 供試材および実験方法

3.2mmφの硬アルミ線、イ号アルミ合金線、特強亜鉛メッキ鋼線および3.2(0.35)AS線(0.8%C鋼線使用)の4種を供試材とし約8mの試料長をとり、一端を固定し他端にそれぞれ所定の引張り応力に相当する荷重をかけた。

第6表は供試材に負荷した引張り応力を示す。

試験期間中の室温の変化(23~30°C)はすべて25°Cに補正した。また伸びすなわちクリープ量の測定にはダイヤルゲージを使用した。荷重条件はすでに発表された各種データに基づき、クリープ速度を $1 \times 10^{-4}\%/h$ と考えた場合の引張り応力を負荷した。

第23図は試験状況を示した写真である。

#### (b) 実験結果

第24図はクリープ曲線を示す。この図より1,000 minより10,000 min間における平均クリープ速度を求めるとアルミ線の場合を除いて大体 $1 \times 10^{-4}\%/h$ を示した。アルミ線の場合は10kg/mm²の引張り応力と既発表<sup>(15)</sup>のデータから推定すると $1 \times 10^{-4}\%/h$ の平均クリープ速度を示すのは5 kg/mm²となる。なおこの実験結果から注目できることはAS線のクリープ限は、それを構成している亜鉛メッキ鋼線と同等であるという事実である。このことからアルミは応力緩和現象を起していることが推定される。またイ号アルミ合金線、特強亜鉛メッキ鋼線のクリープ限については従来いわれていた値と一致した。

### 5. AS線の特長

AS線は上述のようにアルミと亜鉛メッキ鋼線が完全に一体となった新しい複合体であり、細かくいえば多くの特長があげられるが、大別すると次のようになる。

#### (a) 導電率、機械的強度を適当に組合わせることができる。

AS線は前述したようにアルミおよび鋼線の種類、寸法を大きく変化させることができるので導電率、機械的強度を考えてもつ



とも合理的な設計を行うことが可能となった。これは在来のカッパーウェルド、銅メッキ鋼線アルモウェルド線などに見られない特長である。

(b) 耐食性が良好である。

AS線を構成しているアルミは一般に使用されている電気用アルミそのものであるから、耐食性はきわめて良好である。またアルミを亜鉛メッキ鋼線上に圧接しているから、もしアルミが何らかの外傷を受けた場合でも亜鉛メッキ鋼線が露出するだけで相当の耐食性を期待できる。これらの点がアルモウェルドと異なる点である。なお工場地帯に架線するような場合で $\text{SO}_2$ ガスなどに対する防食効果を増大させようとするれば、普通品位の代りに高品位アルミ<sup>(16)</sup>(純度 99.85~99.89%)を利用すればよい。

(c) たわみ性がすぐれている。

AS線はアルミが被覆されているから、亜鉛メッキ鋼線に比べてきわめてしなやかであり、したがって取扱いが容易である。またより線とした場合により戻りがきわめて少ない。

(d) ニッキングの耐疲労性におよぼす悪影響は少ない。

## 6. 各種電線としてのAS線の応用

AS線は前述したように従来の電線材料に比べて多くの顕著な特性をもっており、カッパーウェルドなどとはちがって表面がアルミであるため、アルミより線として使用できる。その用途は色々考えられるが、その代表的な構成例を示すと次のとおりである。

第7表はAS線のより線としての代表的な構成を示したものである。

AS線の用途を大別すると次の3つとなる。

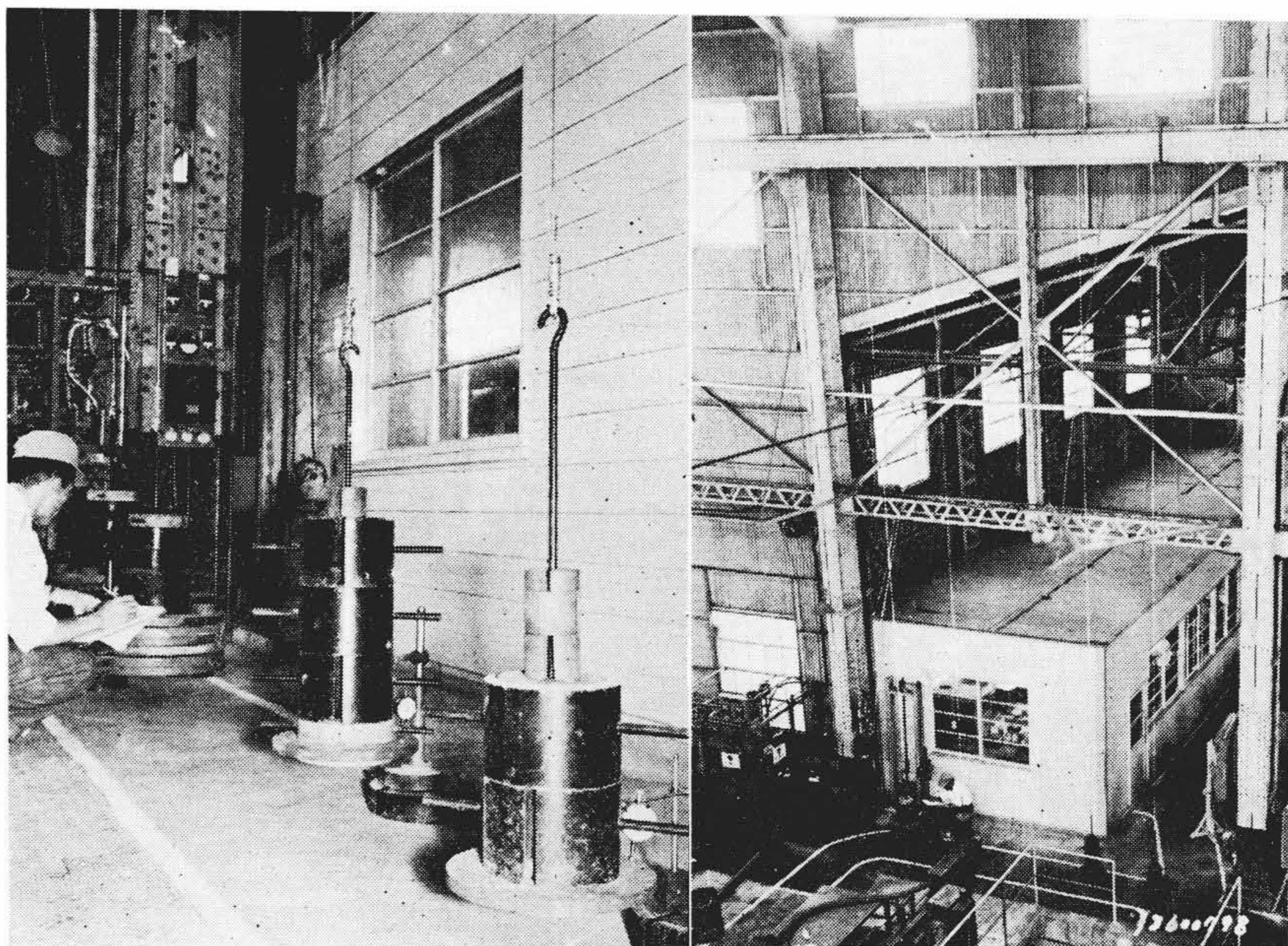
(a) アルミ表面をもつことが特長となる分野

AS線は機械的強度が大きく、その熱膨脹係数、応力-ひずみ曲線が鋼線と類似しており、しかも耐食性はアルミと同様と考えられるので、より線とすることによって多くの特長ある製品を作ることができる。たとえば ACSR の鋼心としてこれを使用すれば、テンション・メンバ (Tension Member) としての役割を果たすとともに異種金属の接触に基づく腐食がないので、心線がいずれも同じ寿命をもつ ACSR を実現することができる。また AS 線の導電率をいかにすることによって全体の寸法を小さくすることができる(第7表の3号S)。

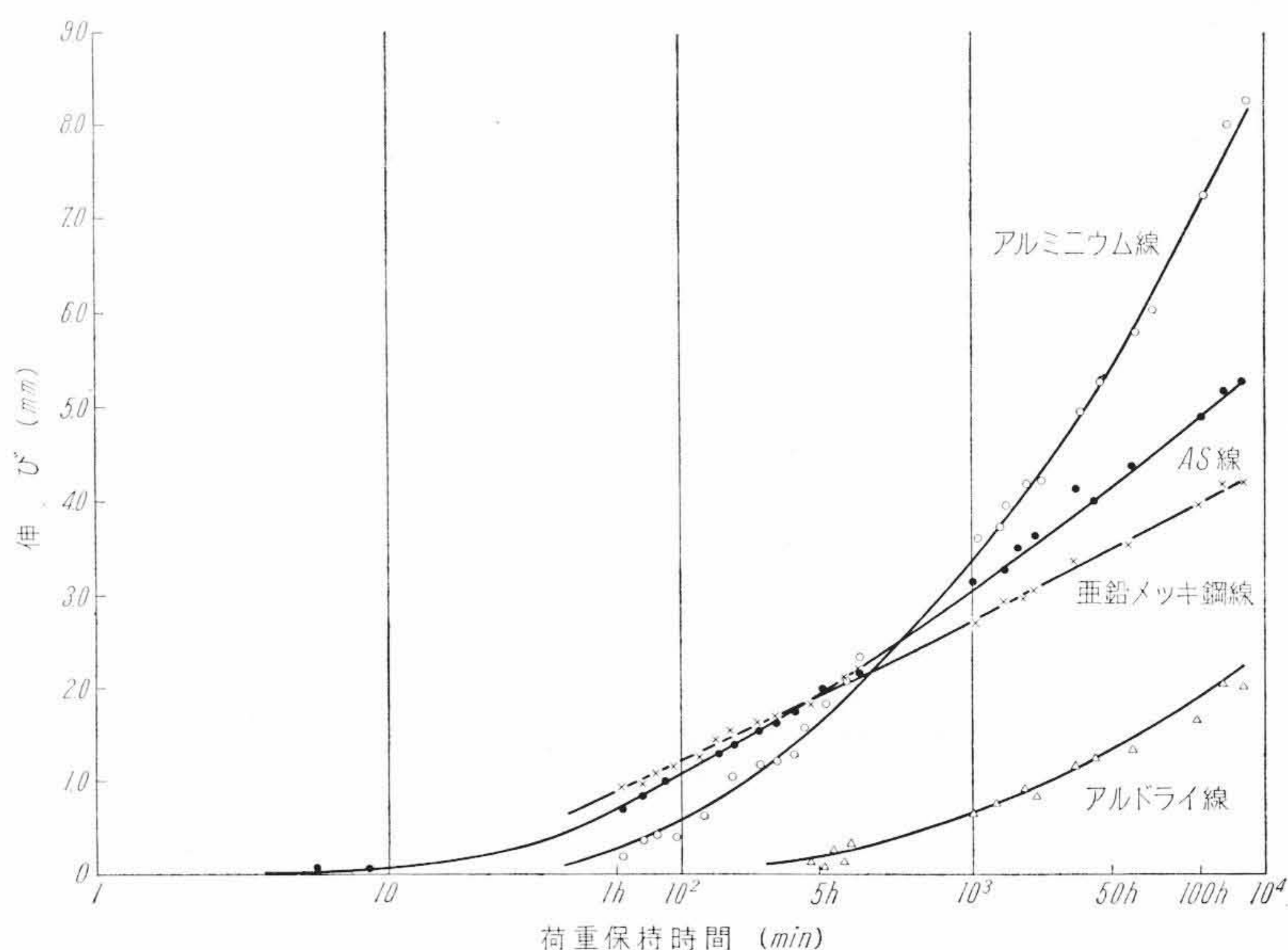
なおAS線は亜鉛メッキ鋼線と組み合わせるか、AS線のみでより合わせて導体を作ることによって、長径間送電線として最も適当と考えられる(第7表の1号2号AS)。

AS線はACSRの表面層にも使用できる。これは比較的新しい考え方である。たとえば7本よりのACSRでも亜鉛メッキ鋼線は1本、アルミ線は6本という制限はない。引張り荷重を増すために外層に互いに向いあった2本のAS線を入れることができる(第7表の4号AS)。

AS線のほかの使用法として興味があるのはプレフォームド・



第23図 クリープ試験状況の外観写真



第24図 各種供試材のクリープ曲線

第7表 AS線の代表的応用例

| 名称   | 構造                  | 構成例 | 備考                |
|------|---------------------|-----|-------------------|
| 1号AS | AS線のみをよりあわせたもの      |     | 長径間送電線架空地線用       |
| 2号AS | 鋼より線の上にAS線をより合わせたもの |     | 主として長径間送電線用       |
| 3号AS | AS線の上にアルミ線をより合わせたもの |     | 架空地線、防食を必要とする送電線用 |
| 4号AS | AS線とアルミ線のまぜよりのもの    |     | 送電線、給電線架空地線用      |



アーマードおよびグリップである。これらの付属品は引留部分やアルミ線とAS線の接続部分に使用することができる。

#### (b) 銅被銅線と比肩される分野

この分野の代表的なものとしては架空地線、給電線支線、メッセンジャーワイヤなどがある。ここで銅被銅線、AS線のいずれが良いかはその使用法、大気条件および経済性などに基ついて考えられるべきである。AS線の有利な点は銅被銅線に比べて重量が軽く、価格が安いことである。

AS線だけを7本または19本より合わせたものはその機械的強度、導電性からして架空地線として最適と考えられ、各電力会社で漸次採用されつつある。

なお銅被銅線は農事用配電線、支線などに使用すると、盗難の危険があることは従来しばしば経験される場所であるが、AS線ではこのような心配はない。

#### (c) 銅被銅線がAS線よりやや有利と思われる分野

この分野の一つは絶縁線である。銅被銅線と同じ導電率をもたせるためにはAS線の径を大きくしなければならない。このため経済的に不利である。また搬送およびラジオ周波数の場合には、銅被銅線の方が電氣的にすぐれている。しかしその差は少ないものである。

以上のような分野にAS線はこれから急速に伸びてゆくものと思われるが、考えられる適用分野を列举するとつぎのようになる。

- |              |             |
|--------------|-------------|
| ○長径間送電線      | ○架空線        |
| ○支線          | ○メッセンジャーワイヤ |
| ○配電線         | ○通信線、信号線    |
| ○ACSRの心線     | ○アルミ線の付属品   |
| ○アルミ線との混合より線 |             |

## 7. 結 言

長年にわたり研究してきた常温圧接法の成果を応用して、新しく

開発したアルミ被銅線の諸性能および使用される分野についてとりまとめたものであるが、AS線は亜鉛メッキ銅線上にアルミが単に被覆されているのではなく、両者が圧接により一体となっているものであることは認識されたものと思われる。またAS線の特長として、アルミ層、亜鉛メッキ銅線の材質寸法を適当に変化できるので、従来の線では考えられなかったような分野の開発も期待できる。なお現在考えられる利用としては各種構造のより線に組合せるだけでなく、イ号アルミ合金線、銅被銅線の使用されている分野に適用できる。

終りに臨み本研究に関し、疲労試験についてご指導頂いた同志社大学中村教授、電子回折実験をして頂いた東北大学金属材料研究所小川教授、渡辺助教授ならびに鋭意実験に尽力された当研究部第二研究課の方々、および関係各位に深甚な謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) A. V. Zeerleder, E. Zurbrug: Aluminium 20 B 65 (1938)
- (2) H. Bohner: Z. Metallk, 20, (4) 132 (1928)
- (3) I. Fuchs: Z. Metallk, 19, (9) 361 (1927)
- (4) 小西: 古河電工, 15号 1(昭19-4)
- (5) 山田: 軽金属, 7, (4) 45 (1957)
- (6) 川西: 日立評論, 41, (5) 77 (昭34-5)
- (7) J. D. Sprowl: Wire & Wire Prod, 1160 (1956)
- (8) F. E. Leib: Alumoweld a New Bimetallic Wire for Electrical & Strength Applications, "The Seventh Annual Symposium on Technical Progress in Communication Wire & Cables" Pec. 2-4 (1958)
- (9) 斎藤, 山路: 金属 28, 702 (1958)
- (10) 斎藤, 山路: 日立評論 別冊 28, 79 (1958)
- (11) 斎藤, 山路: 熔接界 11, 137 (1959)
- (12) 斎藤, 山路: 日立評論 41, 586 (1959)
- (13) 斎藤, 山路: 熔接学会誌 28, 331 (1959)
- (14) W. B. Pearson: Handbook of Lattice Spacings & Structure of Metals 389 (1958)
- (15) 軽金属資料: No. 293 41 (昭32-8)
- (16) 山路, 川西: 日立評論 40, (9) (昭33-9)



登録新案 第522871号

## 新 案 の 紹 介



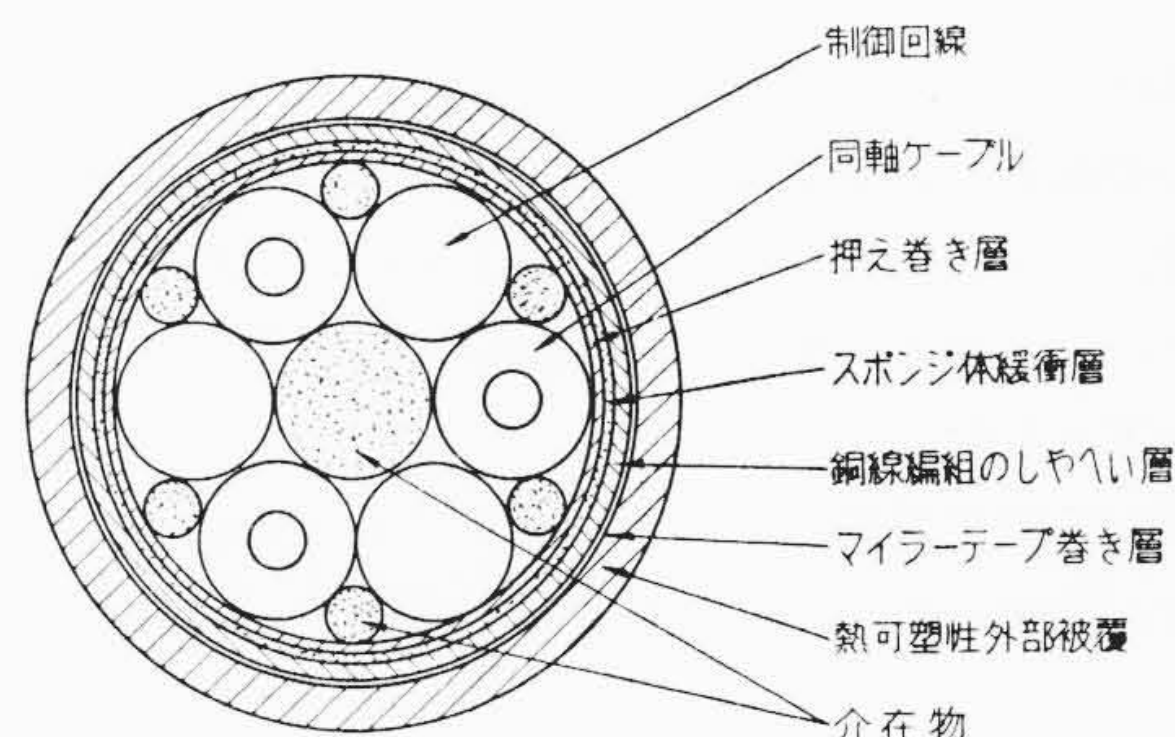
佐藤志智夫・斎藤修喜

## テ レ ビ カ メ ラ 用 ケ ー ブ ル

この考案はテレビカメラと送像装置との間に使用されるテレビカメラ用ケーブルに関し、同軸ケーブルと、制御回線とを介在物とともに合わせて周上に、押え巻き層、スポンジ体の緩衝層、銅線編組のしゃへい層、マイラーテープ巻き層、および熱可塑性外部被覆を順次設けてなるものである。

従来のテレビカメラ用ケーブルは線心より合わせ周上に押え巻き層、銅線編組のしゃへい層および外部被覆を順次設けた構造となっているため、ケーブルの屈曲によって銅線編組のしゃへい層が断線し、これがケーブルのしゃへい効果ならびにテレビの映像に悪影響を与えていた。

この考案は、このような点にかんがみ、銅線編組の上下にそれぞれマイラーテープ巻き層ならびにスポンジ体の緩衝層を設けたものであるから、ケーブルがテレビカメラの移動にともなって引き回され、著しく屈曲したとしても、銅線編組に作用する無理な張力を、それら両層によって緩和することができる。したがって、銅線編組のしゃへい層の断線事故はなくなるので、従来のような欠点はまったく一掃できる効果がある。(斎藤)



第1図 テレビカメラ用ケーブル