

常温圧接によるトロリ線の新接続法

New Jointing Method of Trolley Wires by the Heatless Welding

山路 賢吉* 中村 光雄**
Kenkichi Yamaji Mitsuo Nakamura

内 容 梗 概

トロリ線の接続方法としては従来ダブル・イヤによる機械的方法しか実用されていなかった。この方法には種々の欠点を包含しているため、われわれはここに常温圧接を応用することを考え、過去5年間にわたり基礎的研究を経て実用試験を重ね常温圧接によるトロリ線の新接続法を確立することができた。

トロリ線の常温圧接について得られた結果を要約すると次のようになる。

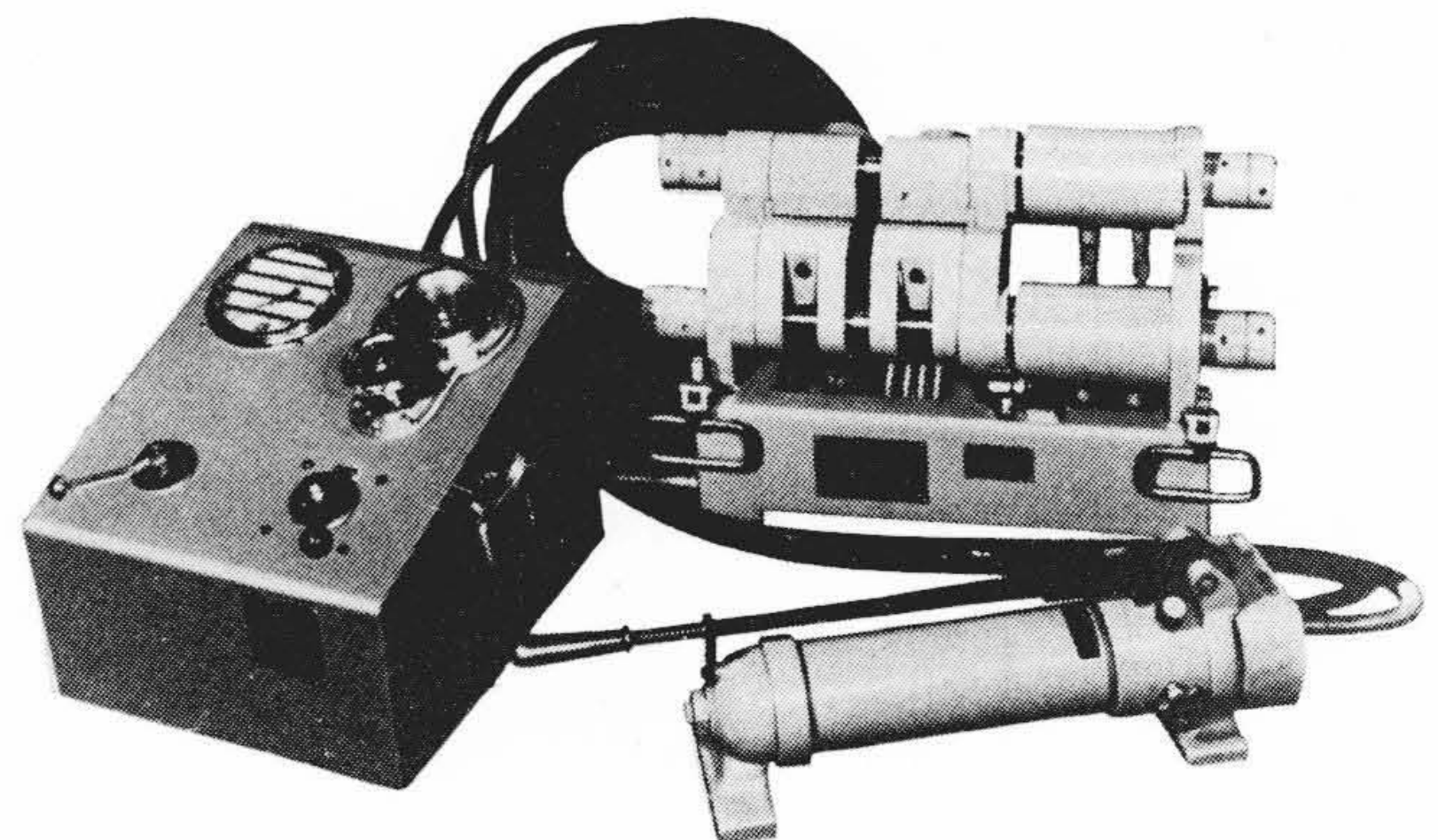
- (1) みぞ付トロリ線(硬銅または銀入銅)の常温圧接には二段圧接法を採用すれば良好な結果が得られる。
- (2) 圧接準備としては金鋸(のこ)またはボルトクリッパで切断した圧接準備面にワイヤ・ブラッシングを行なうだけで十分である。
- (3) 圧接したトロリ線について各種の機械的試験を行なった結果、圧接部は引張り、ねん回にはきわめて強く、母材より先に切断するようなことはない。
- (4) 圧接材の耐疲労性は高応力では母材よりも弱いが高応力では両者はほぼ同等である。
- (5) 国鉄大井工場において2年間にわたる実用試験を行なってみたが、その結果はきわめて良好であり、圧接部の摩耗量はほかの部分と同様であった。

1. 緒 言

従来トロリ線を現地で接続する方法としては、各種の方法が考案されたが結局ダブル・イヤによる機械的接続しか実用されていなかった。この方法はトロリ線を約60 cm 併列させ、この間をダブル・イヤで3箇所固定するもので、相当の熟練を必要とする。またこの方法の欠点は、ダブル・イヤで固定しているためトロリ線の振動疲労に対し悪影響を及ぼすとともに、接続部の重量増加を招来していることである。なおこの方法は機械的接続法であるため接触抵抗が大きく、使用中通電による温度上昇のため接続部で溶断する事故も発生している由である。これらの理由から過去において抵抗溶接、銀ろう接など各種の方法が考えられたが、いずれも加熱すること自体がトロリ線(半硬質)の強度を低下させるため実用化することはできなかった。

われわれはトロリ線の接続に常温圧接を利用することを考え、各種の研究を行なうこととした。トロリ線の接続は架線車で行なう場合がほとんど全部であり、したがってトロリ線用圧接機は架線車で容易に操作できることが必要となってくる。また圧接が有効に利用できその接続部が十分信頼可能なものであれば端尺物をきわめて有効に使用できる利点がある。しかしながらトロリ線の接続は100%信頼できるものでなければならぬので一般的な機械的強さばかりでなく実用化試験を数多く行なう必要がある。すなわち通電による温度上昇、この温度上昇に伴う接続部の機械的強さの変化、パンタグラフ通過による摩耗の問題、架線張力によるクリープなども実験する必要がある。

本論文では過去5年間にわたり取り組んできたトロリ線用常温圧接機、圧接方法、圧接したトロリ線の諸性能について述べるとともに各所で行なってきた実用試験についても略述する。なお圧接部の耐食性、電気抵抗などについては予備実験の結果、問題とする必要がないので本文中では言及しない。これは圧接部が完全に一体となっているため耐食性を考慮に入れる必要がないことおよび圧接部の強加工に伴う電気抵抗の増加もみぞ付トロリ線の場合には圧接部のみぞ部分がバリで消滅することによる断面積の増加により十分カバ



第1図 トロリ線用常温圧接機

ーできるからである。

2. 圧接機および圧接方法

2.1 圧 接 機

トロリ線用圧接機で問題となる点は線を実際につかむこと、機械が堅ろうであること、そして小形軽量であることなどである。また現場で作業する場合を考えると電力の使用は不可能な場合が多いので油圧関係は手動による場合も考えなければならない。

第1図は上記の要求条件により製作したトロリ線用圧接機の外観を示す。圧接機は、本体のほかに油圧ポンプ、バルブセットよりなりたっている。この本体の重量は約90 kgであり、国鉄、各私鉄で実用実験のときは、本体は支持柱を利用して滑車により持ち上げ架線車上に乗せることが比較的容易にできた。この図で左側はバルブセット、右後方は圧接機本体でその前方は油圧機である。また本体の右側のシリンダ2個は圧接用である。

みぞ付トロリ線のつかみで注意しなければならないことはチャックのすべりである。このすべりをチェックしやすくすることおよびすべりにくくするためにトロリ線の小弧面が当たる側は線軸に直角方向にトロリ線の機能に影響しないような小さな凹凸の傷をつけた。またみぞはトロリ線をつかむ場合、圧接する内面のトロリ線のみぞ部が合致するようなチェック内面の一部に突起をつけた。

* 日立電線株式会社電線工場 工博

** 株式会社白山製作所 技術課

第1表 圧接したトロリ線の各種試験結果

試 験	みぞ付トロリ線の種類	圧接線の強さ	母材の強さ
引張り破断荷重 (kg)	硬 銅 110mm ²	4,120~4,160	4,100
	銀 入 銅 110mm ²	4,200~4,600	4,200
	硬 銅 85mm ²	3,250~3,300	3,240
ね ん 回 (回)	硬 銅 110mm ²	650~830	720~810
	荒引線で銀ろう付	—	350~600
くり返し曲げ(回)	硬 銅 110mm ²	7~12	15~17

2.2 圧 接 方 法

圧接方法としてはボルトクリップまたは金のこなど適当な工具で線軸に大体直角に切断した面を電動機または手動によってワイヤ・ブラッシングを行ないチャックで把持(はじ)してのち圧接する。この場合 110 mm² 硬銅トロリ線で把持力は約 25 t, 圧接力は約 30 t である。

圧接の場合に重要なことは圧接準備面を清浄にすることと圧接準備面に残留した異物を圧接界面から押し出すことである。これらのことから考えるとワイヤ・ブラッシングを十分行なうことと寄せしろ(圧接開始時のチャック先端間の距離)を十分にとることが必要となってくる。寄せしろをあまり大きくすると線が坐屈する可能性があり⁽¹⁾⁽²⁾, またあまり強圧を加えると材料がもろくなる危険性もあるのでわれわれは種々実験の結果, 2回圧接操作をくり返す2段圧接法を採用している^{(2)~(4)}。この方法では第1回目の圧接時の寄せしろは約 24 mm, 第2回目の寄せしろは約 10 mm である。なおこの圧接機は圧接の完全さを確かめるために圧接した線に張力をかけることもできるようになっている。

3. 圧接したトロリ線の諸性能

トロリ線の接続は 100% 確実なことが必要であり, その圧接部の機械的強さも実際に即した方法によらなければならないが, 本項目ではそれらの実用的実験に先立って行なった一般的試験について述べる。

3.1 引 張 り 強 さ

圧接部を中央部にした 50 cm の供試材 100 本について引張り試験を行なった結果を第1表に示す。試験結果はいずれの場合も圧接部以外から破断し圧接部は母材よりも強いことがわかる。

引張り試験では圧接部以外で破断するので圧接部の真の強さを測定することはできない。そこで 110 mm² 硬銅トロリ線を圧接し, その圧接部の線径を細くして引張り試験の場合必ず圧接部から破断するようにした。その結果圧接部の真の引張り強さは 42.8~46.8 kg/mm² でこれより圧接部の引張り荷重を推定すると 4,700~5,100 kg となり, 母材の引張り強さ 38 kg/mm², 引張り荷重 4,200 kg よりも相当大きいことがわかった。

3.2 ね じ り 強 さ

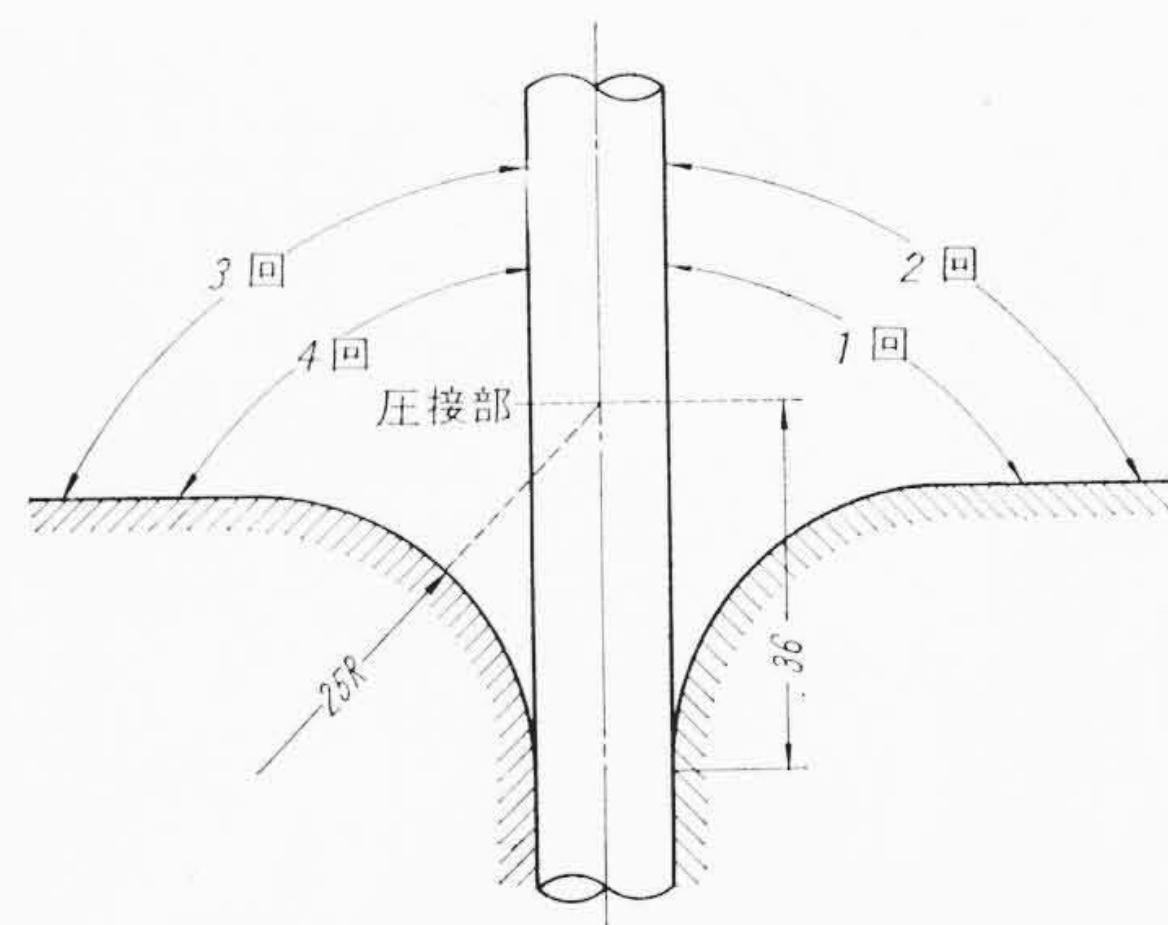
100 本の供試材 (110 mm² みぞ付硬銅トロリ線) について固定チャックと回転チャック間の距離を 300 mm としてねじり試験を行なった。この場合ねじり数は 180 度回転して 1 回, 次に 180 度回転して 2 回, 180 度もどして 3 回, 原位置にもどして 4 回とした。

ねじり破断箇所はすべて圧接部以外であって, 荒引線を銀ろう付けしたのち伸線した供試材のねじり値よりも圧接部のほうが安定した値を示している。

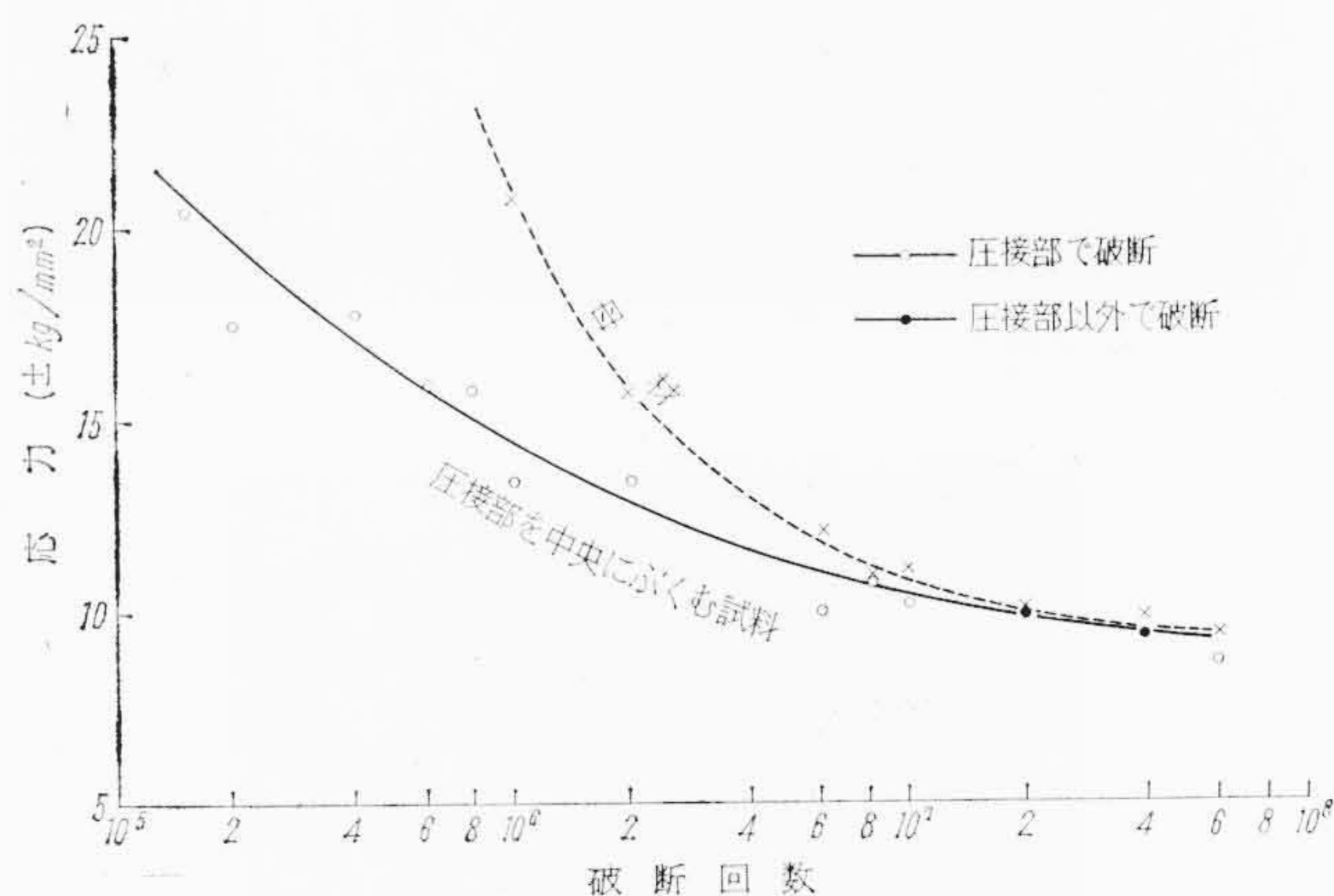
3.3 く り 返 し 曲 げ 試 験

110 mm² 硬銅トロリ線 100 本を供試材とし, 圧接部を中心としたくり返し曲げ試験を行なった。

第2図はくり返し曲げ試験方法の説明図である。試験方法としてはまず小弧面側から曲げ始め 90 度曲げて 1 回, 原位置にもどして 2 回, 反対側に 90 度曲げて 3 回, 原位置にもどして 4 回というように



第2図 く り 返 し 曲 げ 試 験 説 明 図



第3図 疲 労 試 験 結 果

回数を数えた。屈曲値は破断するまでに経過した日数で示した。

第1表からもわかるように屈曲値は母材値よりも低い, これは圧接部が硬化しているためこの部分がチャックの曲率になじまず, 25 mmR よりも小さな曲率で圧接部近くが曲げられるため低くなるものである。しかしいずれの場合も圧接部以外で破断し, 圧接部での破断は発生しなかった。

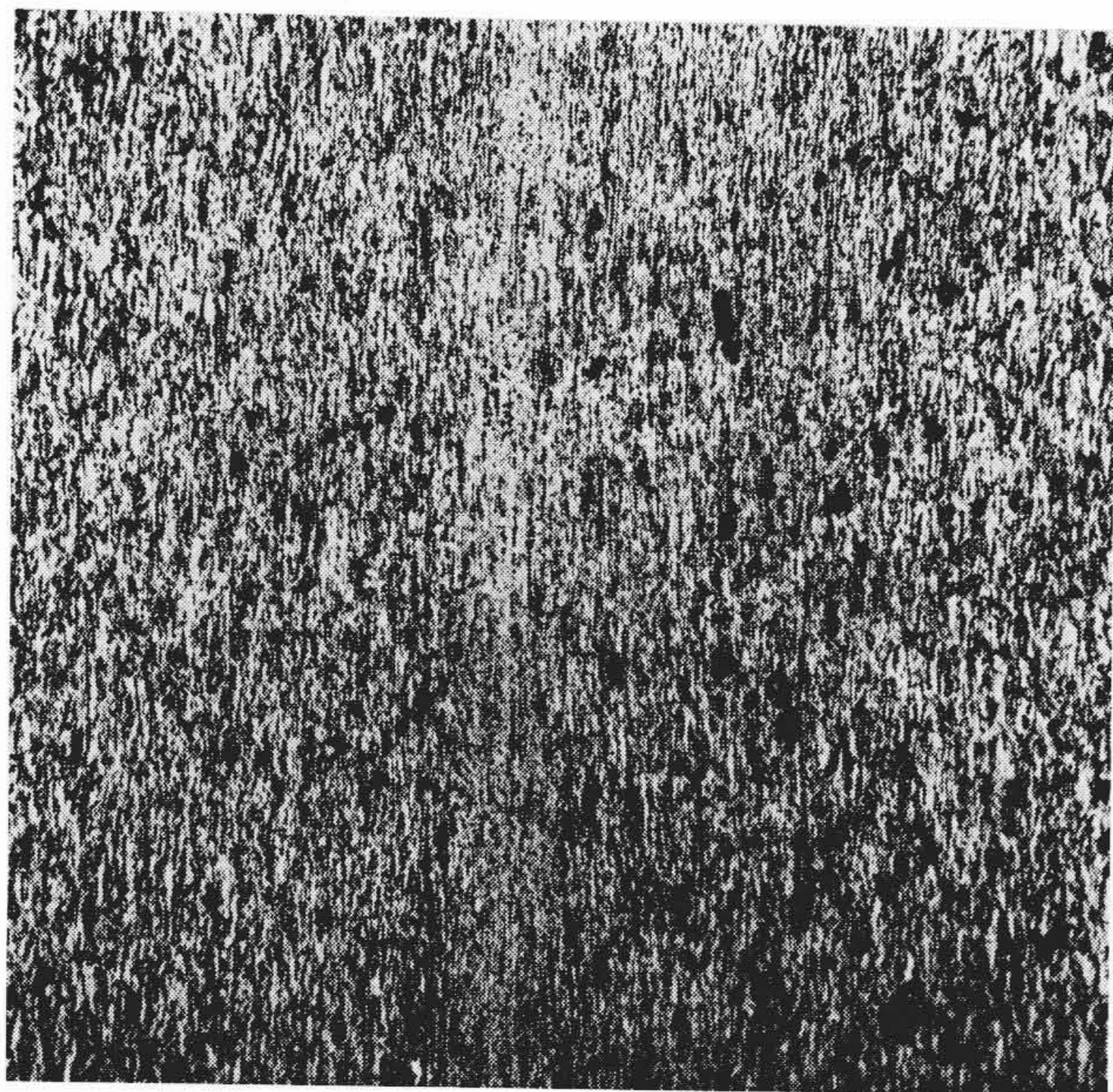
3.4 疲 れ 強 さ

110 mm² みぞ付硬銅トロリ線を供試材とし, 共振形疲れ試験機を用いて圧接部の疲れ強さを測定した。この試験機は元来強磁性体の疲れ強さを測定するためのものであるが, トロリ線の両端に鉄製のキャップを入れ込むことによりトロリ線の疲れ強さも測定できるようにしたものである。試験方法としては, 上下方向にくり返し曲げ応力を与える疲れ試験で小弧面を上側にして圧接部は最大曲げ応力がかかる中央部にした。

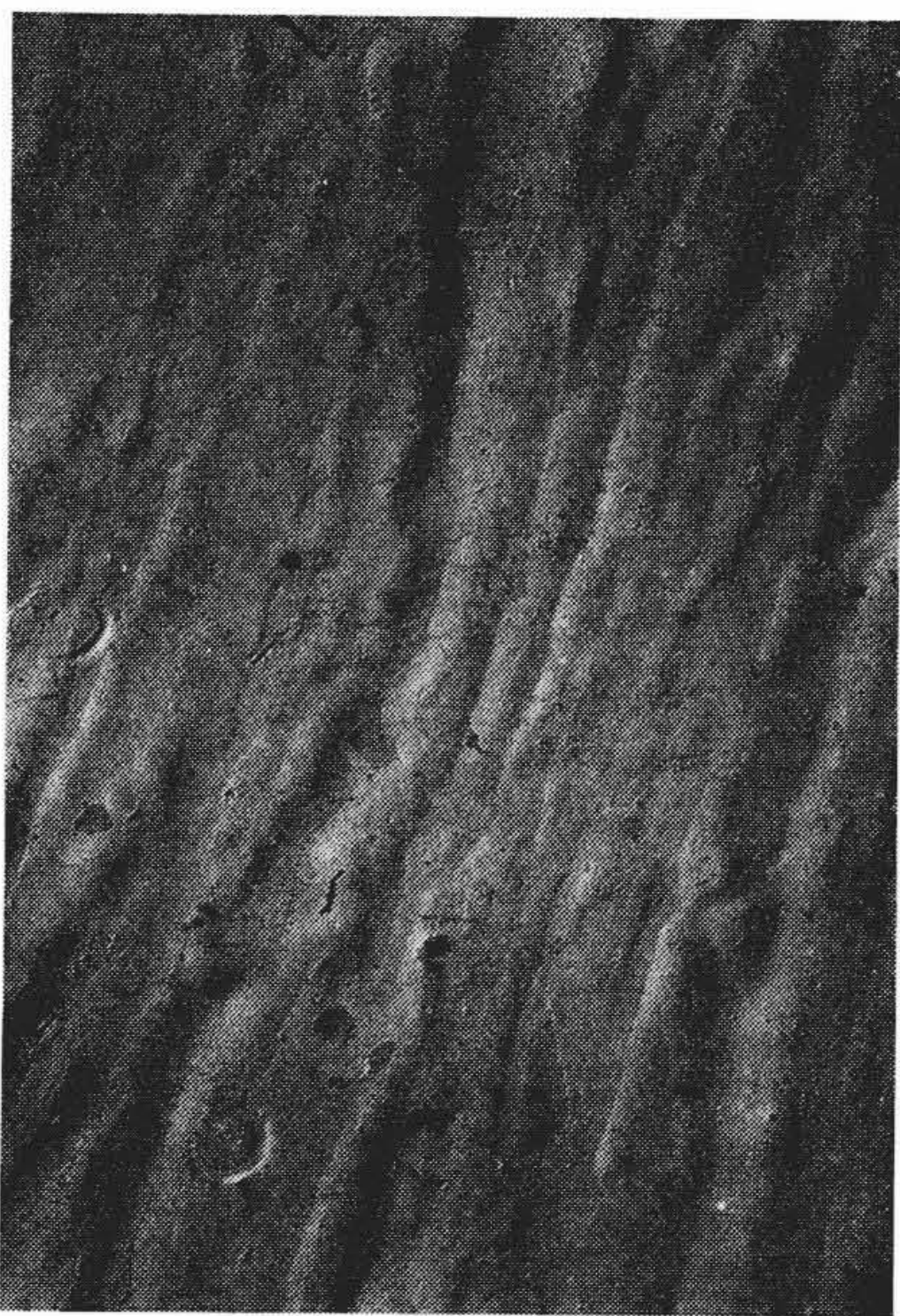
第3図は本実験結果を示す。この図からわかるように圧接材と母材との疲れ破断回数は高応力の場合に差が現われ後者のほうがその回数が大きい, 応力が小さくなるにつれてその差は小さくなる。たとえば 5×10^7 回の耐久限を考えると両者の差異はなくなり, 圧接材も実用上は母材と同等の疲れ強さを示すものと思われる。なお圧接材の場合, 高応力での疲れ破断箇所は圧接部であるが低応力では圧接部以外となる。

4. 圧接部の組織とかたさ分布

第4, 5図は, それぞれ 110 mm² みぞ付硬銅トロリ線縦断面の圧接部について得られた顕微鏡および電子顕微鏡組織を示す。圧接部はそれぞれの図中央部に存在するはずであるが, 完全に圧接一体化しているためその界面を判然とすることはできない。なおこれらの図からわかるように圧接部では, 材料の流れは線軸方向に対して直



第4図 圧接部の顕微鏡組織 (×100)



第5図 圧接部の電子顕微鏡組織 (×3750)

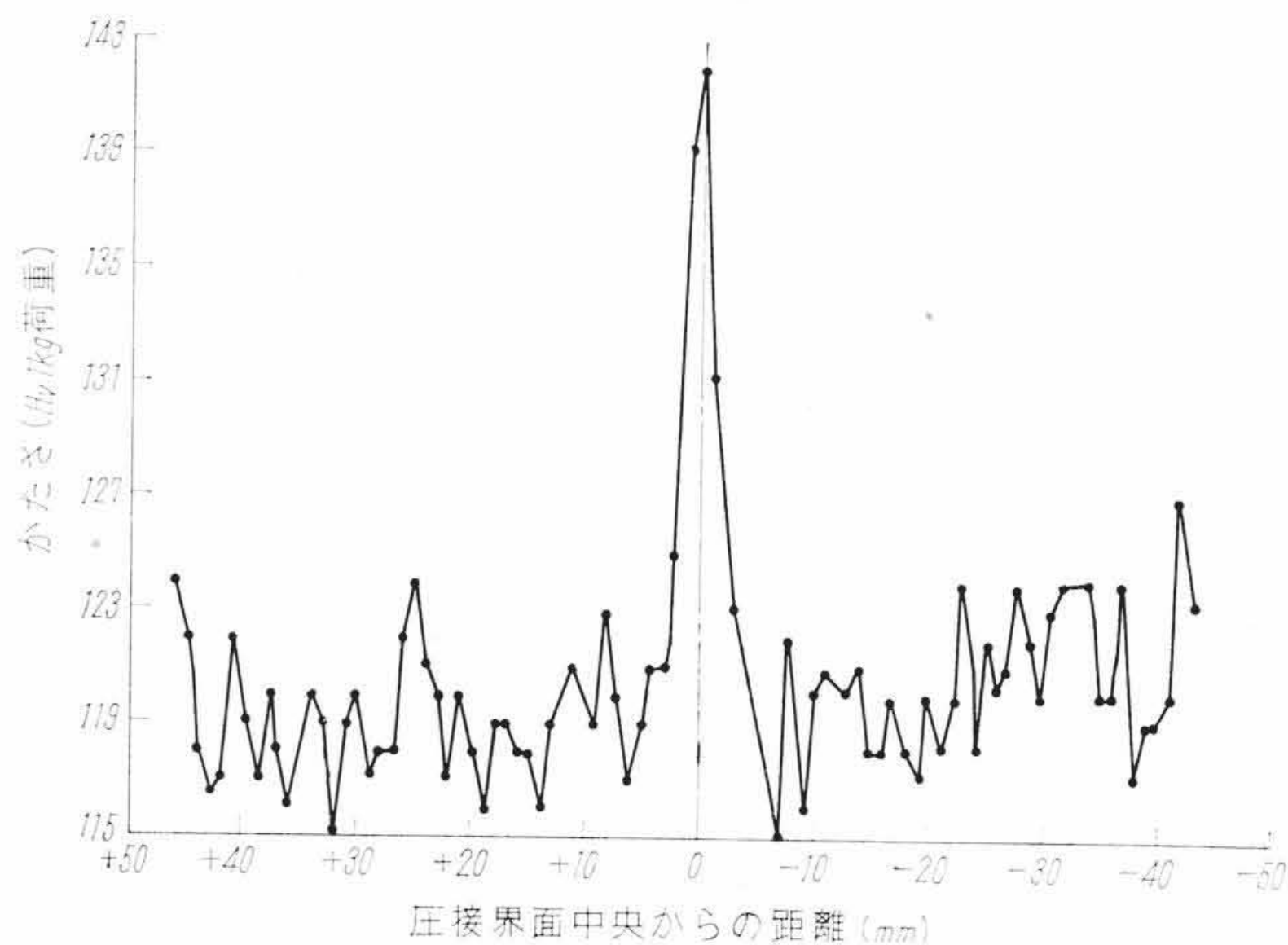
角となっている。この事実は、線軸方向に直角な衝撃力が圧接部に加わった場合、その衝撃強さは母材よりも弱いことが推定される。そこでシャルピー衝撃試験機を用いて簡単な実験を行なってみると、母材の衝撃値 34 kg-m/cm^2 に対し圧接部の衝撃値は 25 kg-m/cm^2 となった。しかし実用上は問題とする必要はないようである。

第6図は圧接部およびその近くのかたさ分布を示す。供試材は 110 mm^2 みぞ付硬銅トロリ線で、中心軸上のかたさを微小かたさ計で測定したものである。この図からわかるようにかたさ分布曲線は圧接界面で最高を示し、その値は大体 140 である。圧接により硬化している部分は圧接部を中心とした $\pm 3 \sim \pm 5 \text{ mm}$ で、チャック把持している部分のかたさは 120 ぐらいである。したがってトロリ線の圧接によりかたさの変化は約 20 ぐらいしかない。これは母材自体が硬質であるためと思われる。

5. 実 用 試 験

5.1 摩耗したトロリ線の常温圧接

実際にトロリ線を圧接する場合、必ずしも新線と新線を接続するだけではなく、古線と古線、古線と新線を接続しなければならない



第6図 圧接部付近のかたさ分布

場合も多い。

国鉄では、 110 mm^2 みぞ付硬銅トロリ線の場合(線径 $12.3 \text{ mm}\phi$) その大弧面と小弧面の最小距離(摩耗度)が 9 mm のものまでは圧接可能であることを要望している。

摩耗したトロリ線を圧接する場合、摩耗面を合致させる方法、小弧面側を合致させる方法など種々の方法が考えられるが、一般の場合には小弧面側を一致させる方法すなわちみぞ面を合致させるのがチャックを変える必要がないので簡単である。

われわれはチャックを変更することなくどの程度の摩耗線まで圧接できるかについて実験を行なった。その結果、新線と古線のいずれの組み合わせの場合にも摩耗度 9 mm 程度まで圧接容易であり、圧接部の強度も満足できるものであった。しかしながら摩耗量があり大きくなると、新線用のチャックでは把持力の減少を招来するとともに圧接時、線が坐屈しやすくなるので、摩耗した線用のチャックを使用する必要がある。この場合摩耗面は必ずしも水平ではないが、摩耗量によって2種類のチャックを用意しておけば十分であることが判明した。

新線と古線を圧接すると圧接部付近において大弧面側に若干のテーパーがつくが、これはやすり仕上げで実用上さしつかえない程度にゆるやかにすることは容易である。

5.2 国鉄における実用試験

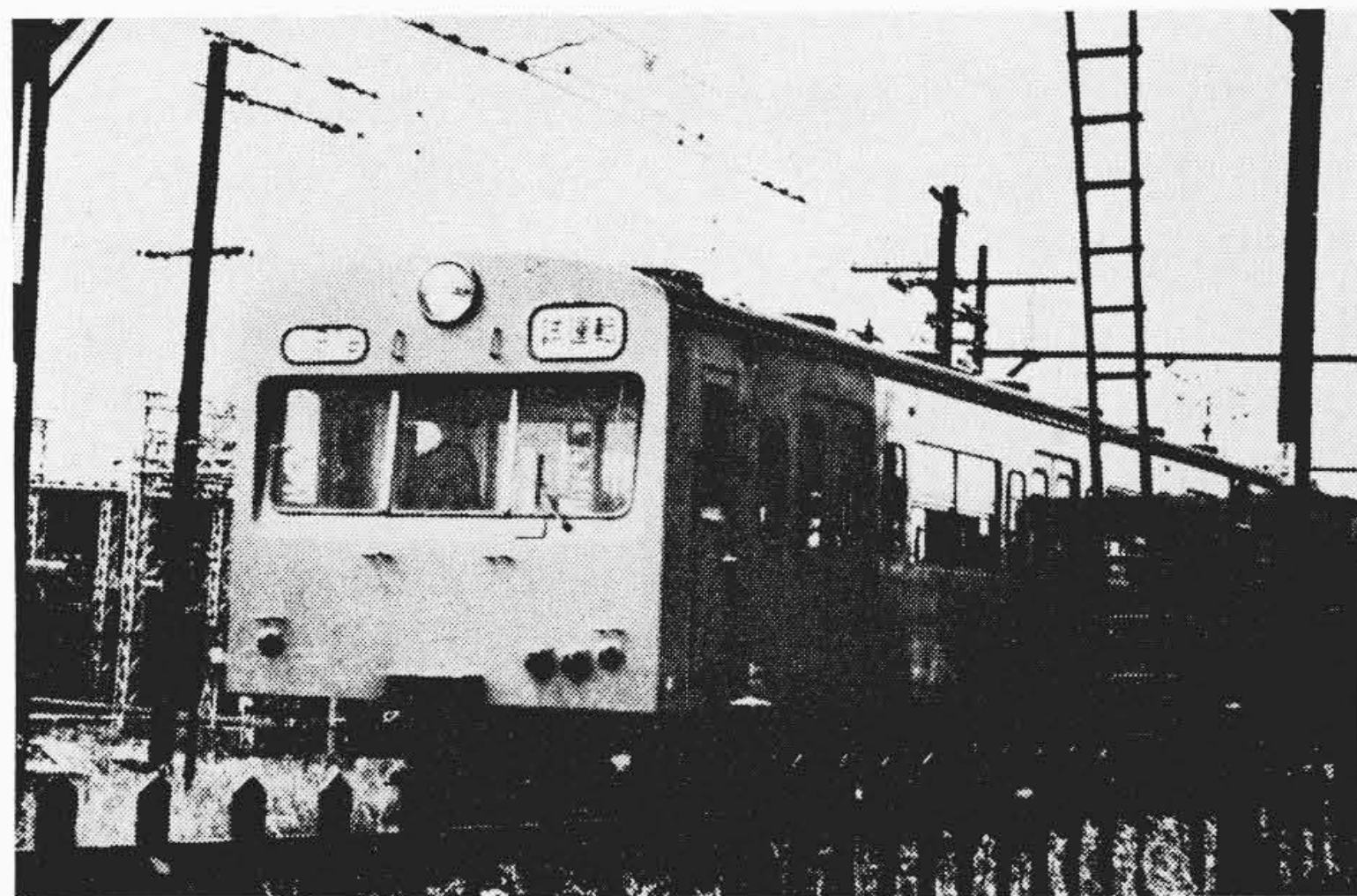
国鉄の指導による実用試験は、昭和33年10月より開始されいくつかの慎重な数多くの実験を経て⁽⁵⁾、昭和34年11月より2年間にわたる実用試験が行なわれた。

試験は実際の運転線路(国鉄大井工場試運転線)に圧接試料を取り付けて通電電流、パンタグラフの通過に対する架線振動、押上げなどによる圧接点およびその前後の特性変化、摩耗進行度その他の影響を調査した。

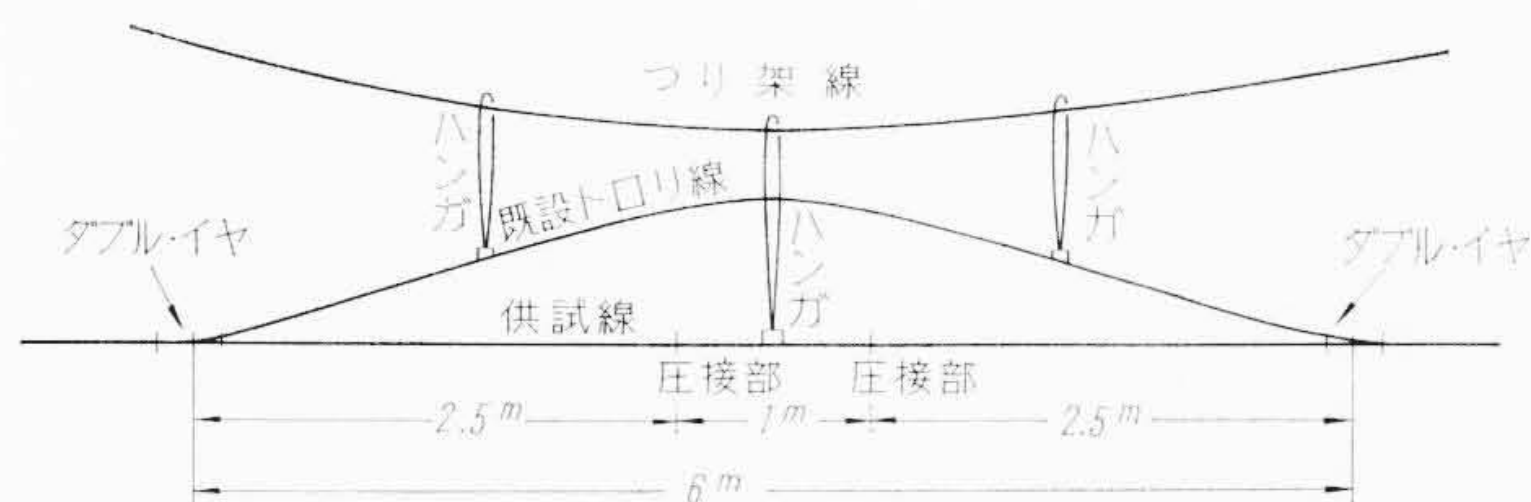
第7図および第8図は圧接試料取付状況を示す。圧接試料は 110 mm^2 みぞ付硬銅トロリ線で、 2.5 m もの2本、 1 m もの1本を次々に圧接して(第8図参照) 6 m としたものの5本で条件の異なった箇所それぞれに取り付けた。電車速度は取付場所による差異はあるが $30 \sim 70 \text{ km/h}$ の範囲である。なおパンタグラフの通過回数は、平均して 96 回/d である。

取付方法としては第7,8図からもわかるように既設トロリ線にゆるみを入れてハンガでつり上げこの場所に供試線をダブル・イヤにより取り付け、架線張力を $800 \text{ kg}(15^\circ\text{C})$ に調整してパンタグラフが供試線をしゅう動できるようにした。

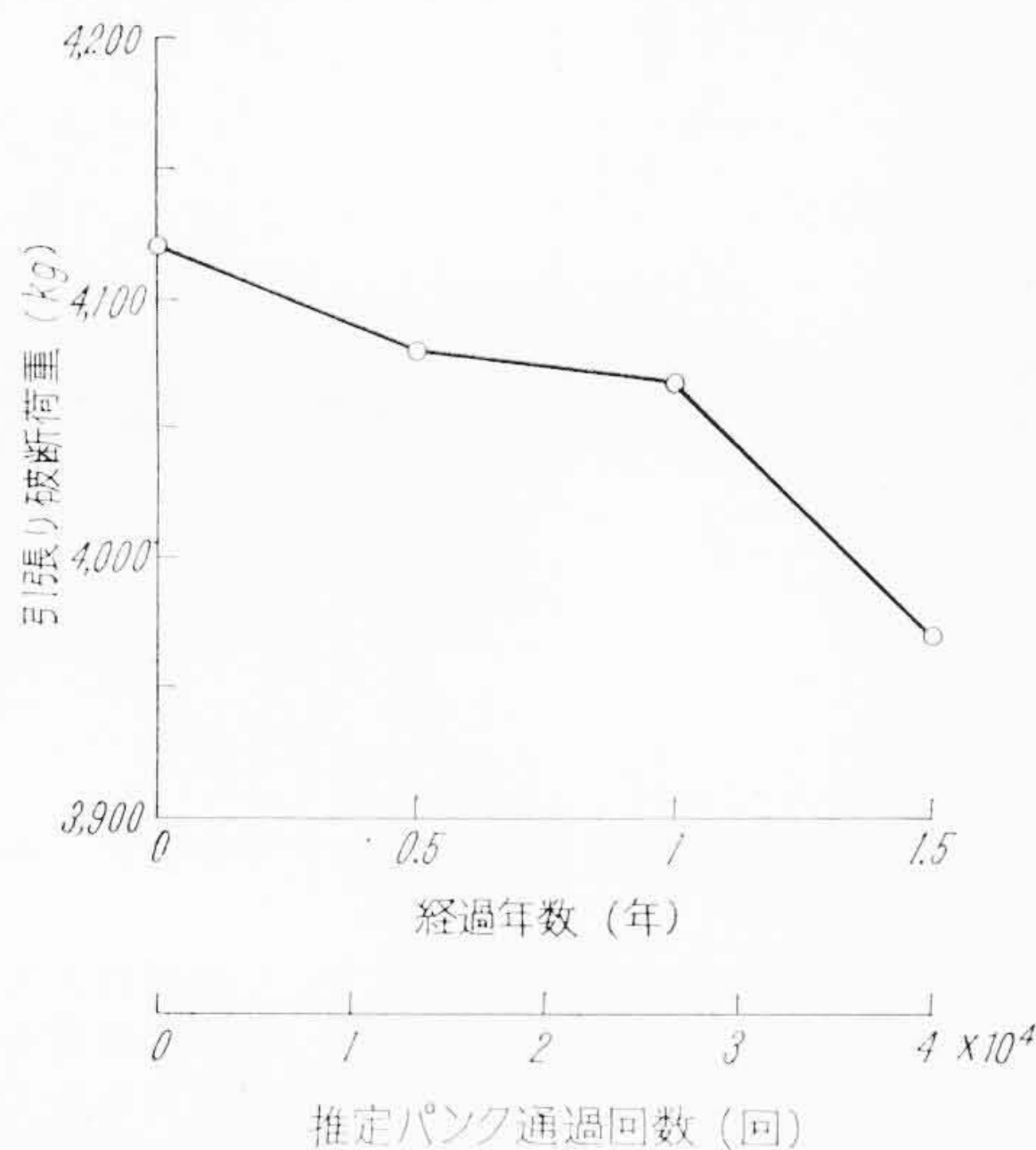
供試線は半年ごとに取りはずし、顕微鏡組織、機械的強さ、かたさおよび摩耗量の変化を測定した。



第7図 圧接トロリ線実用試験状況



第8図 圧接試験取付位置説明図

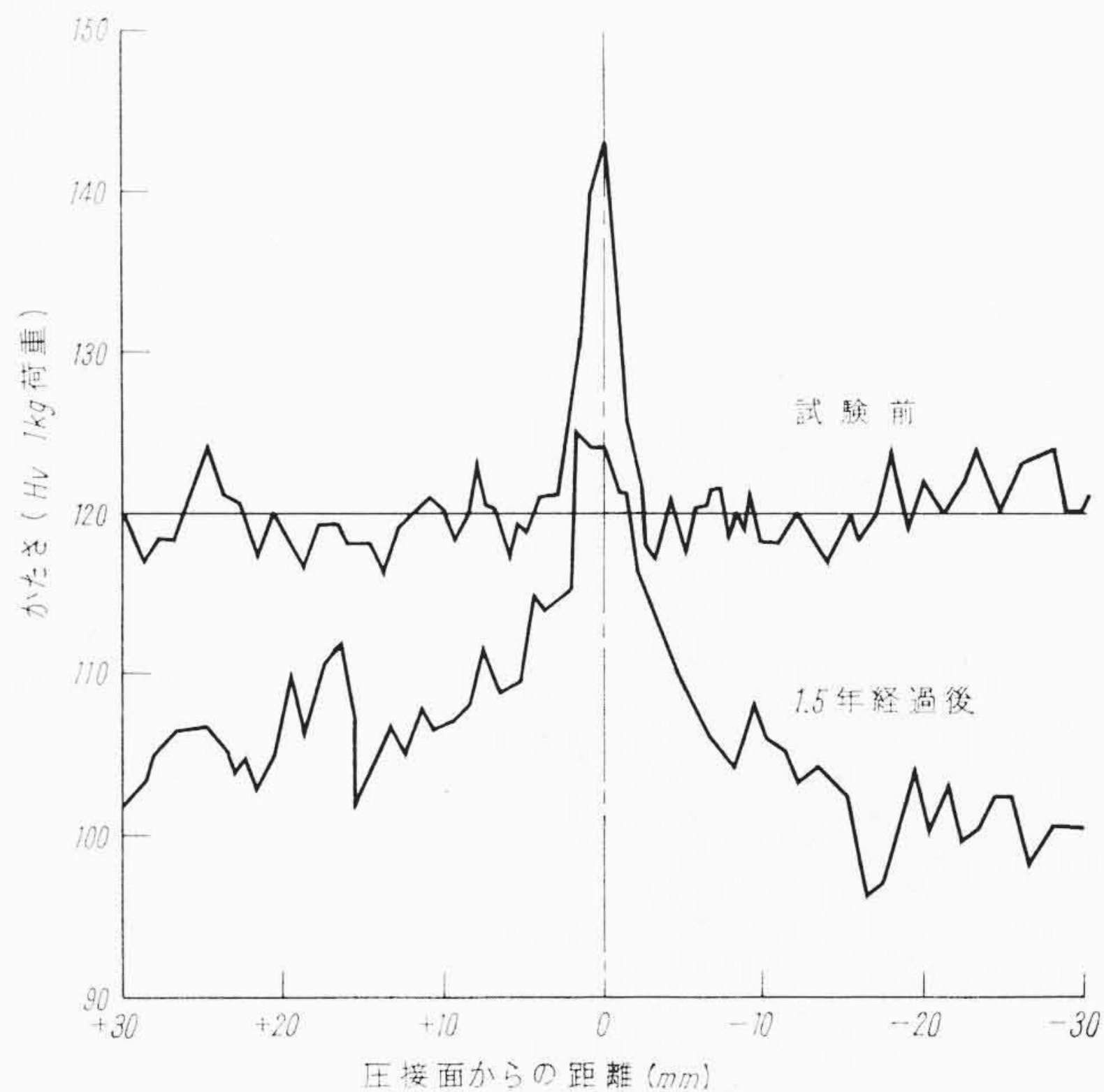


第9図 実用試験年数による引張り破断荷重の変化

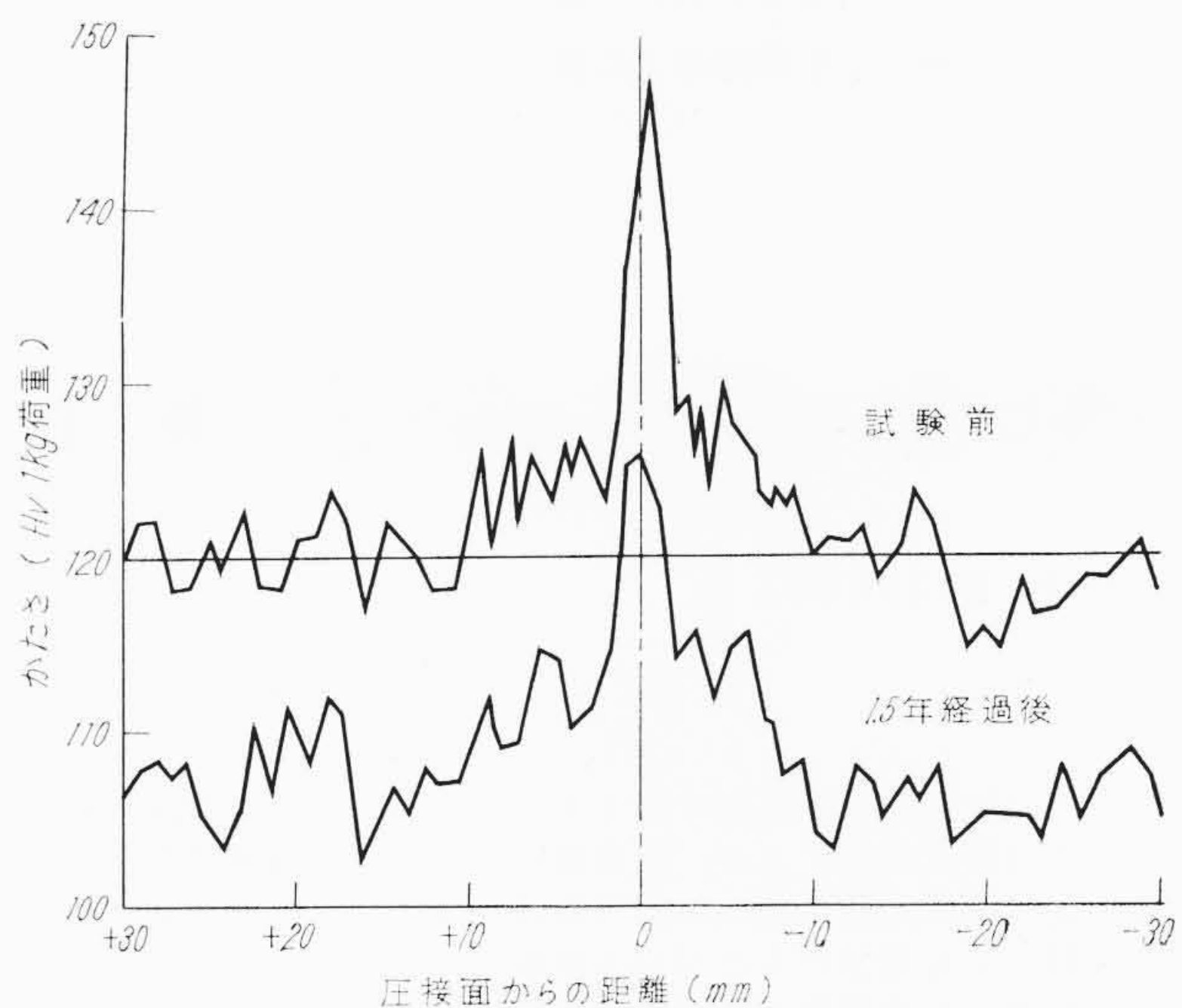
第9図は、経過年数による供試線の引張り破断荷重の変化を示す。この図よりわかるように経過年数とともに破断荷重は若干減少しているがこれは摩耗により線の断面積が減少したことによるもので、圧接部の顕微鏡組織は最初となんらの変化も認められなかった。なおいずれの場合も破断は圧接部以外で発生していた。

第10, 11図はそれぞれ摩耗面より0.5mm離れた場所および中央部のかたさ分布曲線が実用試験年数により変化する状況を示した。これらの図よりわかるように実用試験1.5年後には、全体としてそのかたさ（ビッカース微小かたさ：荷重1kg）は15～20程度低下しているようである。圧接部における軟化が若干大きいのはこの部分の加工硬化が大きかったためであるが実用上は問題とはならない。

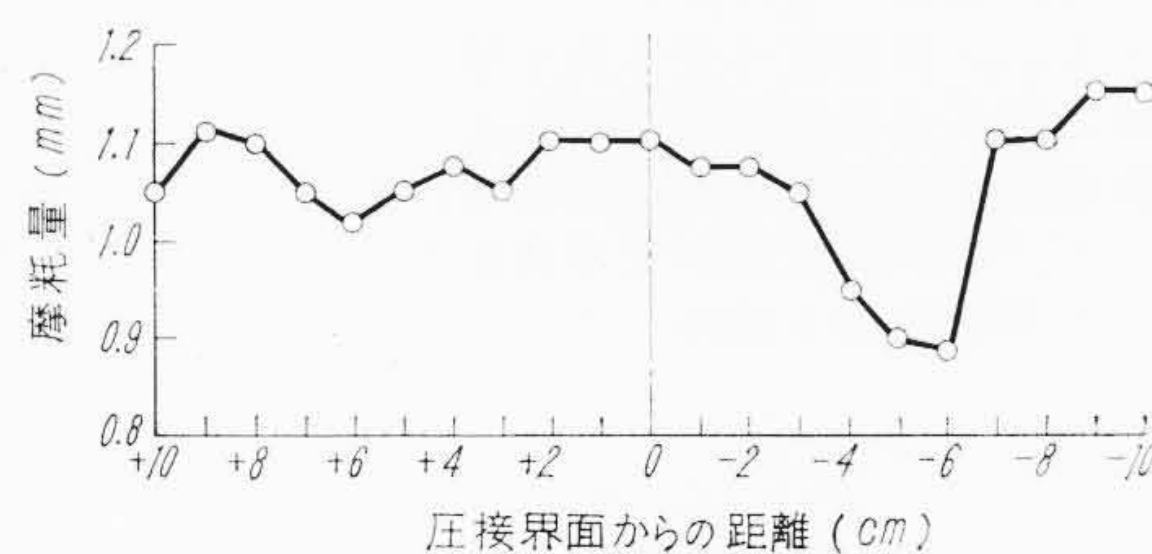
第12図は2年間実用試験後の摩耗量を示したものである。ただし摩耗量とは、大弧面側からの摩耗した距離である。トロリ線の摩耗は周知のようにパンタグラフの通過回数、電車速度のみならず負荷電流に著しく依存するが、本実用試験では試運転線であるので、



（摩耗面より0.5mm離れた場所）
第10図 実用試験年数による圧接部近傍のかたさ分布



第11図 実用試験年数による圧接部近傍のかたさ分布の変化(中央部)



第12図 2年間実用試験後の摩耗量

車両数、ノッチ扱い、速度などはきわめて不規則に行なわれ、発車、停止の位置も厳密には一定していない。電圧は記録紙によれば1,500～1,600Vで、負荷電流は400～1,500Aである⁽⁶⁾。

第12図は試験結果の一例であるが、この図からもわかるように圧接部における摩耗量は他の部分と大体同様と考えてよい。その他の例を見ても圧接部が摩耗しやすいという傾向は認められなかった。

上述の実用試験結果からトロリ線の圧接部は、母材と同等に考えてもよいことがわかった。なおこの実用試験の結果、トロリ線用常温圧接機は、国鉄で採用されることとなり、その仕様書が決定された⁽⁷⁾。このほか、トロリ線の常温圧接は各私鉄でも実用化されつつあり、またクレーン用 110, 170 mm² 硬銅トロリ線についても精練所、製鉄会社などで実際に利用されている。

最近の利用状況からみると架空線の場合、圧接作業に要する時間は、ダブル・イヤ取りはずしから圧接作業完了復旧まで1箇所当たり大体10~20分ぐらいですむようである。

6. 結 言

従来ダブル・イヤで機械的に接続する方法しかなかったトロリ線に衝合常温圧接法を適用することを考え、過去5年間にわたり、その基礎的試験および実用試験をくり返してきた。得られた結果を要約すると次のようになる。

- (1) トロリ線の常温圧接には二段圧接法を採用すれば良好な結果が得られる。
- (2) 圧接準備としては金のこまたはボルトクリップで切断した圧接準備面にワイヤ・ブラッシングを行なうだけで十分である。
- (3) 圧接装置は小形軽量でトロリ線を確実に把持するものが必要である。この点につき圧接装置に改良を加えた結果、装置は圧接機本体、バルブセットおよび油圧機の3本立てとし、圧接機本体のみ(約90 kg)を架線車上に置くこととした。この圧接方法に

よれば従来のダブル・イヤによる方法に比べて、接続に要する時間は少し長くなるが、経済的であり、操作も熟練を必要としない。

(4) 圧接したトロリ線について各種の機械的試験を行なってみた結果、圧接部は引張り、ねん回に強く、圧接部で破断することはない。しかしながら衝撃力には弱いので特別の場合は留意する必要がある。圧接材の耐疲労性は、高応力の場合は母材よりも弱い、低応力では両者同等である。110 mm² みぞ付硬銅トロリ線の圧接材、母材の 5×10^7 回における限定疲労限は $\pm 8.5 \text{ kg/mm}^2$ である。

(5) 実際の運転線路に圧接したトロリ線を割り込ませ、2年間にわたる実用試験を国鉄の指導のもとに行なってみた結果、非常に良好な結果を示し、圧接部についての異常はなんら認められなかった。

終わりにのぞみ、本研究を遂行するに当たって終始熱心なご指導をいただいた国鉄の多数の関係者各位ならびに日立電線株式会社、白山製作所の関係各位に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 斎藤, 山路: 溶接学会誌 30(1), 3 (1961)
- (2) 斎藤, 山路: 溶接学会誌 30(2), 70 (1961)
- (3) 斎藤, 山路, 平野, 沼田: 特公昭 35-16217 号
- (4) 斎藤, 山路, 平野, 沼田: 特公昭 36-1457 号
- (5) 塩崎: 電気鉄道 14-5, 27 (1960)
- (6) 東京鉄道局, 電力課資料による
- (7) 日本国有鉄道仕様書 No. 872, JRS, 79885-14, CR 1



特 許 の 紹 介



特 許 第 291295 号

宮 沢 寿 郎

変 圧 器 放 圧 弁

変圧器用放圧弁の放圧板を薄く成形した場合には、放圧作動にはきわめて良好に反応するが、反面輸送時に受ける機械的振動あるいは変圧器の定常運転状態における負荷の変動にもとづく油槽内部圧力の変動による疲労にもとづいて破壊動作をするきらいがある。

これに対して放圧板を比較的厚く構成すれば、上述の欠点は克服されるが変圧器油槽内部の異常圧力に反応しきれず、最悪の場合にあっては油槽および変圧器本体へ重大な事故を発生するおそれがある。

この発明は、油槽に連なる放圧管の外気側放圧板を比較的厚く成形するとともに、放圧板へ至る放圧管の途中には、特に薄く成形され通圧小孔を備えた放圧板を配置し、この中間の放圧板よりは前記外気側放圧板へ突進対向する突起体を付設したものである。

したがって、今、変圧器が定常運転状態にあれば、中間放圧板の小孔を介して平衡状態を維持しており、変圧器に加わる負荷変動に

もとづく圧力変動は中間放圧板の小孔を通して平衡し、中間放圧板にはたわみが生じない。

しかし巻線短絡事故などの原因にもとづいて油槽内圧力が急増した場合は、小孔を介する圧力追従はできず、中間放圧板を境とする両放圧管内圧力の平衡は破れ両管間へ大なる圧力差を生じ、この圧力差によって中間放圧板は破壊され、突起体および中間放圧板を外気側の放圧板へ向かって突進させ、その衝撃力によって外気側の放圧板を破壊し、油槽内異常圧力を大気中へ放出させる。

この発明は上述のようにして、変圧器の定常運転状態における油槽内圧力変動は中間放圧板の小孔を介して吸収され、また外気へ連なる放圧板は十分に補強しても、中間放圧板の破壊によって有効に破壊され、従来のような不都合を一掃できるものである。

(須 田)

