

通信機器における無半田巻付接続

Solderless Wrapped Connection for Wire Communications

日比野文雄* 飯島一憲* 岡島良次*
Fumio Hibino Kazunori Iijima Ryoji Okajima

内 容 梗 概

無半田巻付接続は、従来通信機器のほう大な端子に行われている半田付接続に代る新しい接続法であつて、半田作業が有する多くの欠点を補い、諸種の要求に応じて開発されたものである。これは原理的に圧力接続の一種であつて新たに開発された専用の巻付工具を使用し、線に張力を加えながら相手端子の金属棒に巻付け、線の張力から生ずる圧力と金属間の拡散によりその接続が均一に確保される。巻付特性は機械的に安定で線や端子を痛めず、半田屑による障害がなく容易、かつ迅速に均一な接続を得ることができる。

本接続の特性値に及ぼす各種因子、すなわち端子、巻付線、作業条件、巻付工具についての実験的検討、長期保証のための線と端子間の拡散現象検討、さらに実用試験による接続の検討を行つた結果、実施上十分信頼のおける性能が保証できた。本接続方法はすでにクロスバ式自動交換機に適用して実用に供している。

1. 緒 言

通信装置の回路接続は、装置製作の重要な工程の一つで、日立製作所においても年間約 2,000 万箇所にも達する接続が行われている。この接続には従来半田付による方法が行われていたが、均一な特性を得るためにほう大な時間と作業者の熟練を必要としていた。電話交換機の革命といわれるクロスバ交換機⁽¹⁾に使用されるワイヤスプリング・リレー^{(2)~(4)}がベル研究所とウエスタン・エレクトリック会社の協同研究により開発された結果、その一環として端子接続に起つた種々新しい要求を満足させる接続方法として研究実施されたのが、無半田巻付接続^{(5)~(7)}である。

本接続方法は、半田付作業を伴わぬ純機械的圧力接続の一種で、半田付接続に比べ経済的で特性が均一であり、また半田屑による障害、接続部の熱劣化、接続部引出し線の応力集中の防止および作業容易化など種々の利点をもつため、クロスバ交換機のみならず、ほかの通信機器にも従来の接続方法に代つて広く用いられる傾向にある。

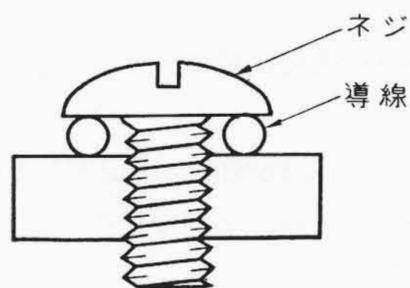
この接続に関し、各種接続条件のすべてに満足な結果を保証するためその特性値として電氣的、機械的接続性能を代表する線と端子間の「抵抗」および「はく離力」を用い、さらに交換機全体に要求される寿命に耐えるため促進試験によるそれらの検討が必要である。

日立製作所においては、昭和31年以来本接続法の諸特性につき種々の検討を行い、十分信頼しうる結果を得て昭和32年、日本電信電話公社蔵局、関西電力株式会社などに納入のクロスバ交換機よりその実施を行つている。以下その概要を報告する。

2. 巻付接続と巻付工具

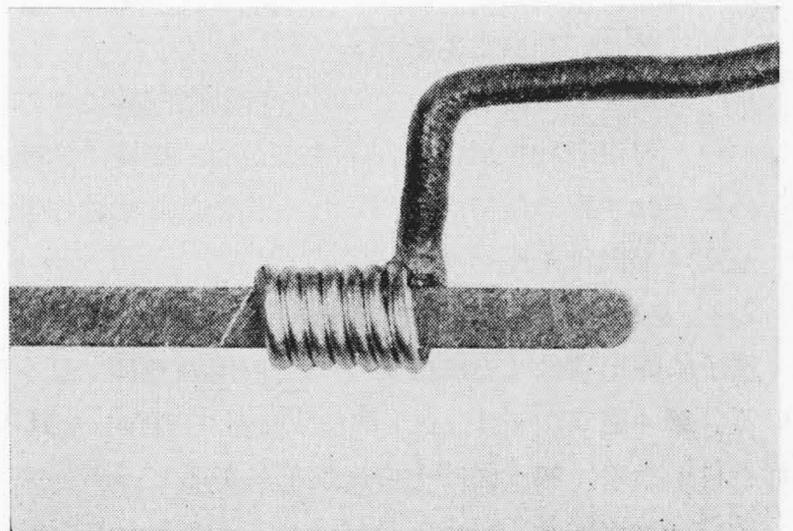
2.1 巻付接続の原理

無半田巻付接続はいわゆる圧力接続の一種である。圧力接続の一例としてネジ締めがあるが、これは第1図に示すようにネジと締付けられる母体との間に線材を入れ、この間に力をかければネジの弾性変形と線材の塑性変形後の弾性回復が平衡した状態で固定される。無半田巻付接続は、これとまったく同様の原理を用いたものである。すなわち比較的硬い角のある端子に、これに比して



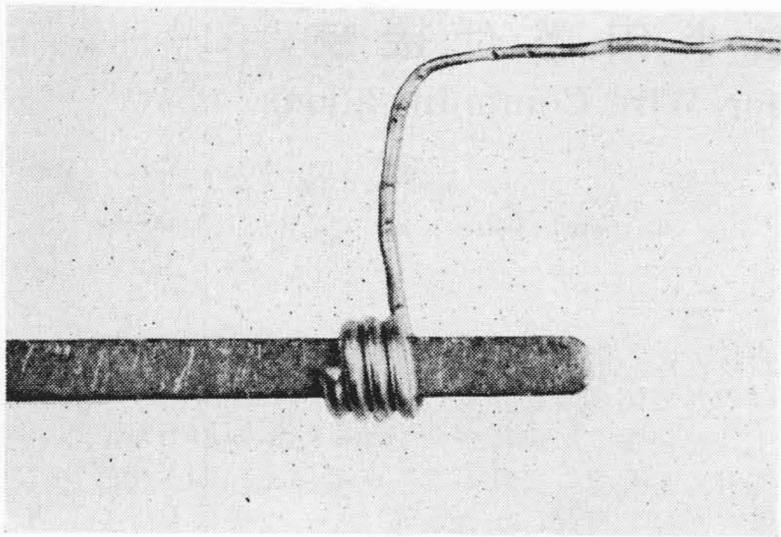
第1図 圧力接続の一例
(ネジによる接続)

て軟かい線を張力をもつて巻付けると、これらの角に接する部分の巻線部に応力が集中し塑性変形を生じて接触面ができる。相隣るこの接触部分が巻付けるときの張力を周応力と

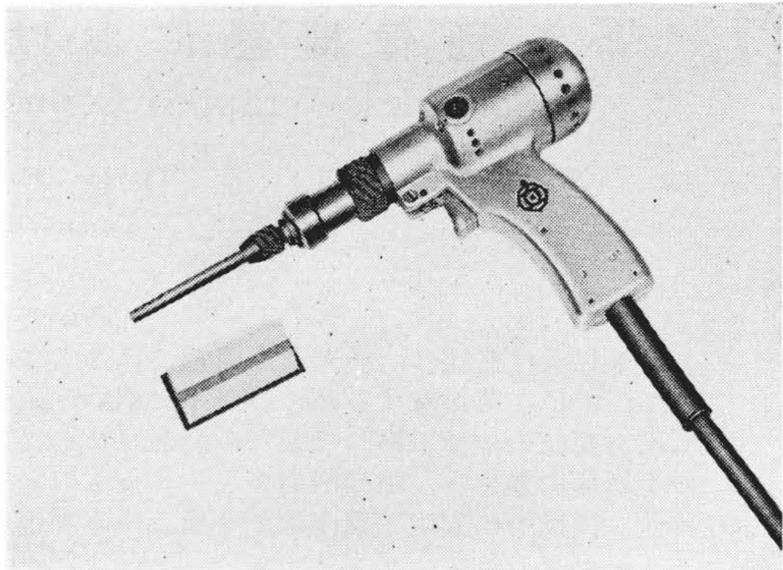


第2図 巻付接続の状況

* 日立製作所戸塚工場



第3図 接触箇所の圧痕



第4図 日立JUW形巻付工具

して保ち接続に必要な圧力を与えるわけである。接触部分における弾性変形は、長い間には周応力の弛緩から接続をゆるめるように作用するが、一方端子巻線間には金属拡散が起るため接続はほぼ一定に維持されることになる。これによつて良好な接続が続けられるのである。

実際の巻付状況は第2図に示すように端子に線を巻付ける巻回数は有効6ターン以上であつて、正方形または矩形の端子では1巻きに4箇所の接触点をもち、巻始めと巻終りのそれぞれ2接触点を不安定接触と考えても残りの20数箇所が緊密な接触をすることになる。この接触箇所は第3図より明らかなように端子の角に従つてつぶれ、この部分で接続が行われるので、巻付けた状態でこの間に介在物のあることは望ましくなく、気密接触面 (gas tight) でなければならない。

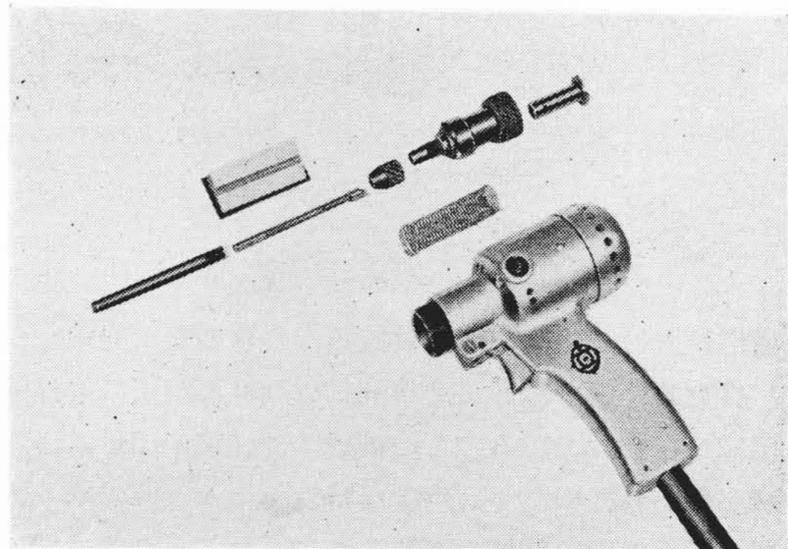
2.2 巻付接続の利点

無半田巻付接続は、従来の半田付接続に比べて、次のような多くの利点を有する。

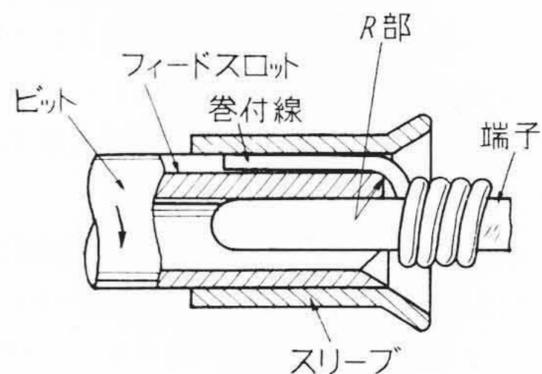
- (1) 十分な接触圧力があつて、機械的に安定である。
- (2) 半田接続のように加熱することがないので、線や端子の材質を痛めない。
- (3) 半田が節約され、半田屑による障害がない。クロスバ交換機のように迂回中継線の多いものは、半田屑障害が非常に発見しにくいいため、これが絶無になることは著しい利点である。
- (4) 端子が密集したところでも容易に配線できる。
- (5) 専用工具を用いて作業するため、接続に熟練を必要とせず均一な特性が得られる。また、接続作業の速度は半田付に比べて速い。

2.3 巻付工具および巻付方法

端子に線を巻付けるには、すべて専用の巻付工具を用いる。第4図は、今回日立工機株式会社で製作したJUW形巻付工具で、第5図はその先端部にあるビットとスリーブの部分を示している。これはピストル形をした握手に交直両用の整流子電動機が入つており、引金を引いて



第5図 日立JUW形巻付工具先端分解図

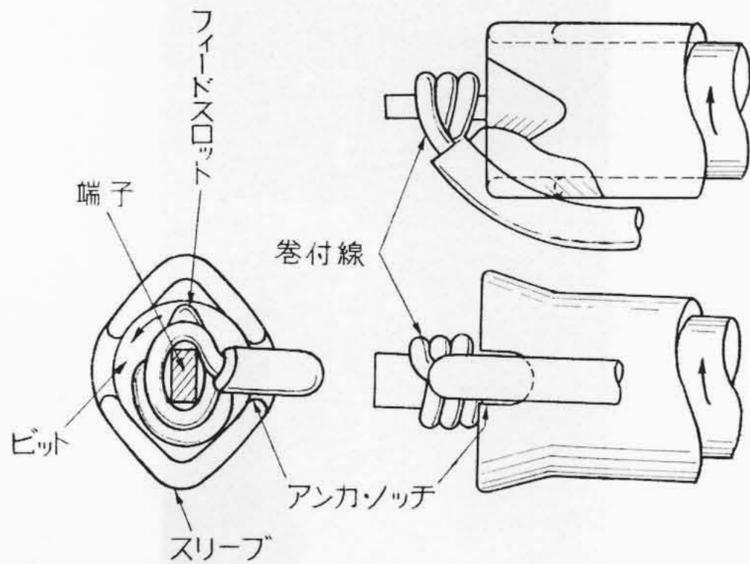


第6図 巻付工具先端断面図

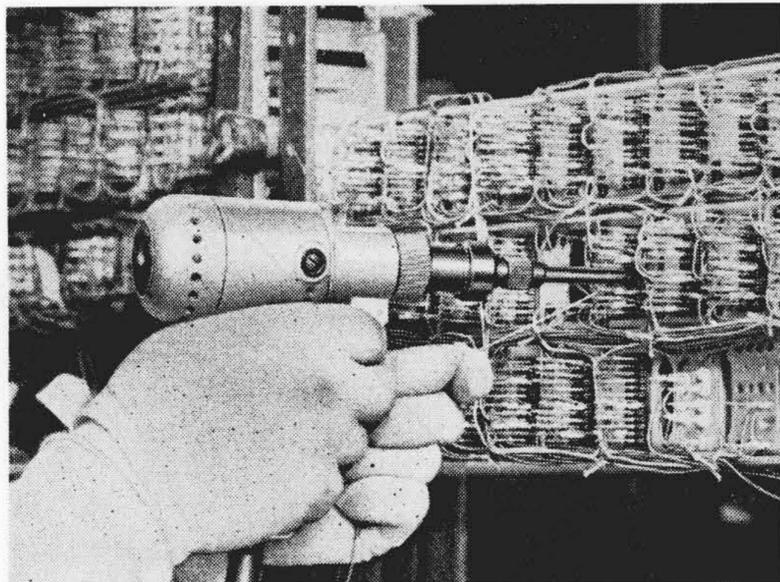
電源と直結すると、この回転が先端のビットに伝わり、巻付けを行う。ビットの外側には線のガイドとなるアンカ・ノッチの付いたスリーブがピストル本体に固定されている。ビットとスリーブは使用によつて摩耗した場合はとりかえるようになっていて、また線径に応じてそれぞれ適応するよう各種用意されている。

2.4 巻付方法

第6図および第7図に示すように、まず巻付線の被覆を除いて端子形状に応じた長さにして、これをビットのフィード・スロットの中に差込み巻付線の根元をスリーブのアンカ・ノッチにかける。その後巻付ける端子をスリーブの中央端子穴に入れ、巻付工具を水平に保持して



第7図 巻付工具先端詳細図



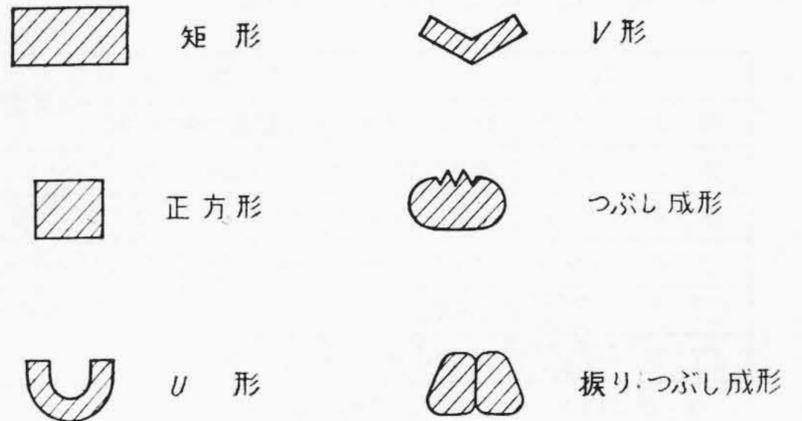
第8図 巻付工具を用いて配線作業を行つているところ

引金を引き、心持ち後退させるようにすれば巻付線が端子に均一に巻付けられる。この時の張力はフィード・スロット入口にもうけられた円弧の部分(第6図R部)を線が通過する時の変形抵抗として加えられるようになっている。ワイヤスプリング・リレーの端子に配線を行つているところを第8図に示す。

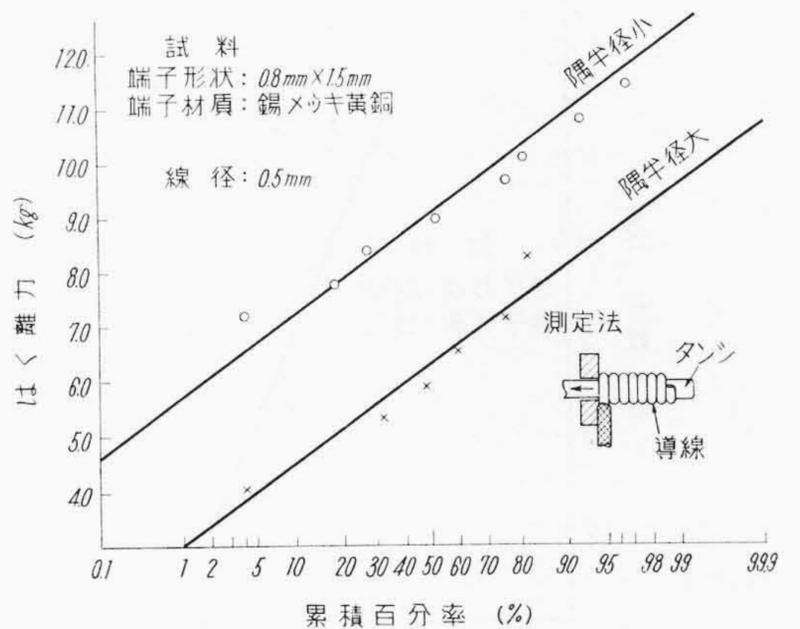
3. 巻付接続の問題点

3.1 端子

圧力接続をする端子の形状は線に集中応力がかかる必要上鋭い角のあるものがよい、たとえば丸棒のようなものでは巻線に局所的な変形を起させることができないため不適である。すなわち端子の形状としては第9図のように矩形、正方形、またはこれに類似の形状に成形されたもの、あるいは板厚の薄い端子で強度上の要求を満たすために作られたV形、U形などがよく、さらに矩形端子は縦横の比の適当なものが理想的である。ワイヤスプリング・リレーでは各種条件を満足できる特殊な成形となっている。



第9図 端子形状の種類



第10図 端子の隅半径の影響の一例

また端子の材質および表面処理は、接触面積、金属拡散などから問題がある。端子の表面は、気密面を形成できる状態でなければならない。

3.2 線材と巻付回数

線の種類、直径および巻付回数は、接触箇所の数、機械的強度および金属拡散などから検討を必要とする。

3.3 作業条件

作業者の熟練度、電源電圧の変動、そのほかの作業状態が特性に与える変動も検討しなければならない。

3.4 巻付工具の影響

端子、線材が選定され、定められた作業条件の下で巻付接続を行う時、その特性はほとんど巻付工具の特性により左右される。特にビットの先端の状況は巻付の張力を決定するので十分な管理が必要である。

3.5 長期間の保証

通信装置の使用期間(クロスバ交換機では40年)の間良好な接続を維持することを確認するため、促進試験、放置試験を実施し、特に気密接触面に生ずる金属拡散の状況を検討しなければならない。

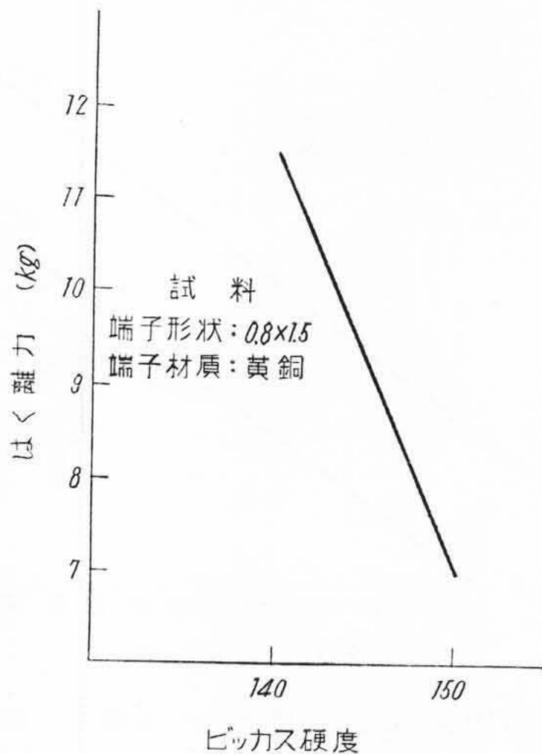
3.6 特性値

巻付接続の良否を測定するために、機械的特性として線を端子からひきはがす時の「はく離力」および電氣的

第 1 表 端子による影響の一例

形 状	寸 法 (mm)	材 質	表面処理	はく離力 (kg)			主な用途
				最小値	最大値	平均値	
矩 形	0.5×1.6	黄銅	錫メッキ	4.8	10.8	8.8	リードリレー
正 方 形	1×1	黄銅	錫メッキ	5.3	10.2	7.4	端子板
V 形	0.4×120°	洋白	—	4.6	9.9	7.5	平形リレー
○ 形	1mmφ線 つなし	タイ素銅	—	5.0	12.2	8.6	ワイヤソケット
△ 形	0.574φ線 2本振りつなし	洋白	—	11.1	19.2	14.5	—

注：使用線材 0.5mmφ錫メッキ軟銅線



第 11 図 端子硬度の影響を示す一例

特性として線と端子の間の「抵抗」を用いる。「はく離力」の測定法は第 10 図に示す。

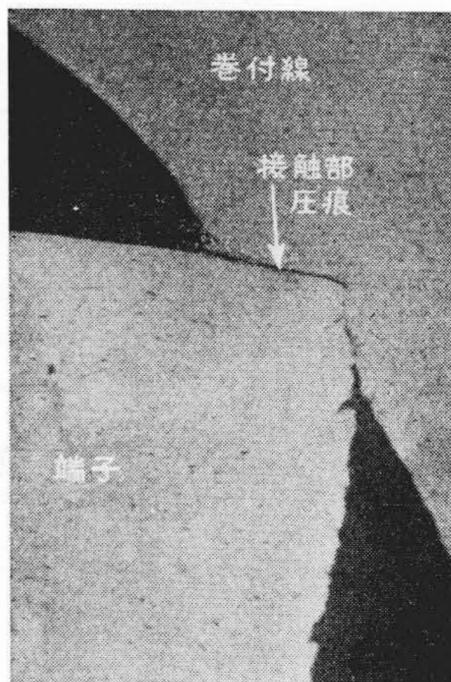
4. 巻付接続条件の検討結果

信頼できる良好な接続特性をもつためには、3 項に述べた諸条件の検討が必要である。以下にこれらの条件についての検討結果の概要を述べる。

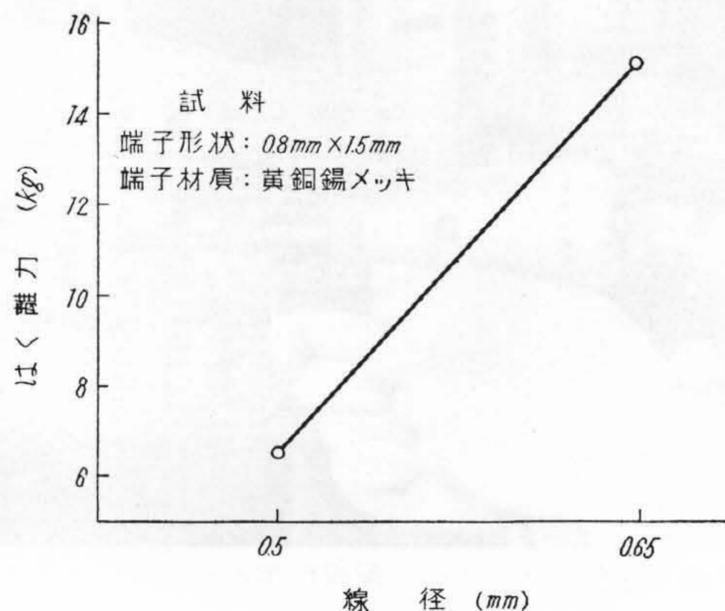
4.1 端子による影響

クロスバ交換機用機器の端子に巻付接続した場合について、「はく離力」を測定した結果を第 1 表に示す。使用線材の破断荷重は 5.5 kg 以下なので接続部分は十分な機械的安定度をもっているといえよう。しかしこれらの値は、断面形状のみならず端子の隅角半径および硬度によつても影響される。第 10 図は端子隅半径の影響の一例を累積確率分布で示したもので、これから多数の端子が安定な接続となるためには、端子製造工程を通じ隅半径に留意することの必要性がわかる。また第 11 図は端子硬度の影響の一例である。

この接続法を特色づけ、またこれを機械的、電気的に安定した接続とするものは、第 12 図にみられるような



第 12 図 巻付線と端子隅角相互の接触



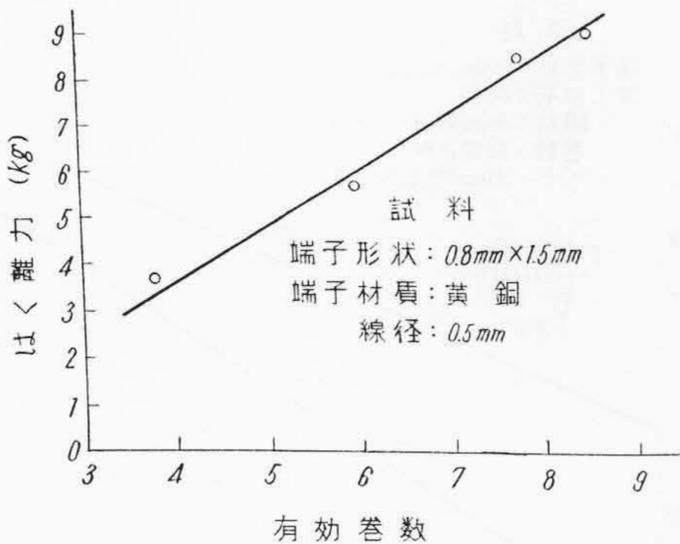
第 13 図 巻付線径の影響

巻付線と端子隅角相互の塑性変形を伴った喰込部分での気密接触で、上記の端子隅半径、硬度のもつ傾向もこれに及ぼす影響として解釈できる。

4.2 巻付線の影響

前述のように線径に応じビットを変えることで、異なる線径のものにも接続可能である。第 13 図は直径 0.5 mm と 0.65 mm の線材について比較したものであるが、「はく離力」は線径で大幅に変化している。これは太い線では、細い線より巻付時の張力が大きいため、線と端子が相互に深く喰い込む結果と思われる。しかし線径を太くすると巻付張力は増加し、巻付時のトルクは増大する。したがって巻付線径の選定には、端子形状ならびにその強度の面よりの考慮が必要である。一般のクロスバ交換機に使用する線径 0.5 mm の場合は十分な特性を有していることがわかる。

巻数による「はく離力」の変化は第 14 図に示すように、巻数に比例して増加し、本実験の範囲では有効一卷



第14図 巻数の影響

第2表 作業者の熟練度の影響に対する分散分析表

要因	変動	自由度	不偏分散	F ₀	結果
作業者	14.64	2	7.32	1.702	有意差なし
巻付工具	4.49	2	2.245	0.543	
誤差	90.77	22	4.126		

$$F_{2,22} \begin{matrix} \{0.01\} \\ \{0.05\} \end{matrix} = \begin{matrix} 5.74 \\ 3.44 \end{matrix}$$

当りのこれに対する寄与は同程度と考えられる。線と端子の接触部のうち、巻初めと巻終りは、巻付後両端より起ると予想されるゆるみを阻止する役割をもっている。このため巻数としては巻初めと巻終りのおのおの2隅は除いて数え、これを有効巻数とした。本図および製造の変動を考慮した確率分布から、「はく離力」3 kg 以上とすると有効巻数として6巻以上が必要であることがわかった。

4.3 作業条件の影響

4.3.1 作業者の熟練度

巻付工具および作業者の熟練度を因子として「はく離力」に及ぼす影響を検討した結果は、第2表に示すとおりいずれも有意差がない。作業者に熟練度を必要としないことは、これまでかなりの経験を要した半田付作業に比べ、実際的には大きな価値をもっているといえよう。

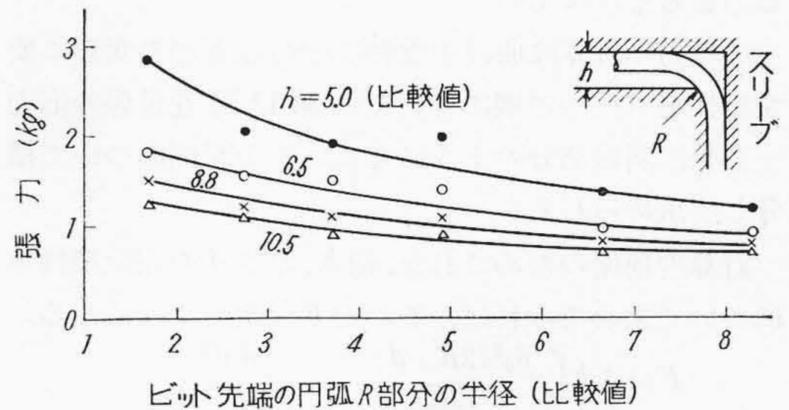
4.3.2 作業時の電源電圧

巻付工具使用時の電源電圧は、90~110V であり、その間では特性値になんらの影響も及ぼさないことを同様に実験により確認した。

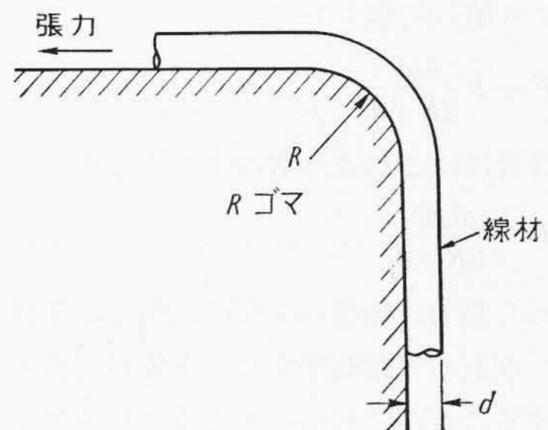
4.4 巻付工具の影響

この接続法では、上述のとおり必要な圧力が巻線時の張力で与えられる。

この巻線時の張力となるものは、第6図工具先端部断面からわかるように、ビット先端の円弧のR部分を通過するときの線の変形抵抗である。この部分には巻付線の通過による摩擦摩擦が考えられる。それで張力、したが



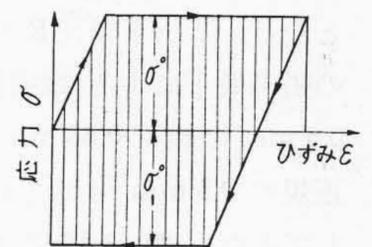
第15図 張力に及ぼすビット先端円弧 (R部分) の半径の影響



第16図 ビット先端円弧 (R部分) の半径による影響

つて接続特性にも使用回数による変化が予想され、多数の端子の接続特性の均一性確保には、使用工具のビットの管理が必要となる。

4.4.1 巻付張力に及ぼすビット先端円弧の影響



第17図 曲げ変形の応力ひずみ線図

第15図にはその実験的検討結果が示してある。張力は抵抗線歪計により測定した。図中各曲線はRゴマ通過後の線の変形路hを媒介変数にして表わしたものである。これから

- (1) 線に加わる張力は、ビット先端の円弧 (R部分) を通過後の線の変形路で大きく変化することがわかる。
- (2) 巻付時に線に加わる張力は、ビット先端円弧の半径Rに逆比例して変化することが実験的に知られる。したがって摩擦による半径の増大から巻付張力の減少、その結果として特性値の低下が予想される。

この張力がビット先端の円弧半径Rでどう変るかの理論的考察は次のようにして行うことができる。すなわち第16図のように、真直な線材を半径Rの部分になじませ、ふたたびこれを真直にして引出すのに要す

る力を考えればよい。

この力の計算は曲げ中立軸に平行な各層の変形に要する仕事（一つの層については第17図巻付線の応力—歪線図斜線部分のようになる）を全断面について積分して求められる。

計算の簡便のためこれを、幅 b 、厚さ d の完全塑性体について求めてみれば、この力 F は次のようになる。

$$F = 4b \left[\frac{\sigma_0^3(2R+d)}{12E^2} + \frac{\sigma_0 d^2}{4(2R+d)} - \frac{\sigma_0^2 d}{4E} \right] \dots\dots\dots (1)$$

ただし σ_0 は降伏応力、 E は弾性係数である。

これより第一近似として

$$F \approx b \frac{\sigma_0 d^2}{2R+d} \dots\dots\dots (2)$$

線材の場合にはこれより次のようになる。

$$F \propto \frac{\sigma_0 d^3}{2R+d} \dots\dots\dots (3)$$

すなわち張力は線径の3乗に比例し、半径 R に逆比例する。前記の実験結果がビット先端円弧の半径 R に逆比例することがこれからもこうていされよう。

4.4.2 巻付張力の接続特性への影響

巻付張力は(3)式より

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{2\Delta R}{2R+d} \dots\dots\dots (4)$$

となり、ビット半径 R の摩耗増大により低下する。この張力低下による接続特性の劣化の推定として、直径 0.5 mm の線を 0.65 mm 用ビットで巻き、その特性を正規の 0.5 mm 用ビットについて得られたものと比較してみた。第18図にはこの結果を示す。

これらからビット半径の増加は、巻付線のゆるみを招来し、電氣的にも機械的にも安定性を劣化させる傾向があることがわかる。したがって多数の接続端子の均一性と安定性の維持には、ビットの管理がぜひとも必要となる。

4.5 経時に伴う拡散接着現象

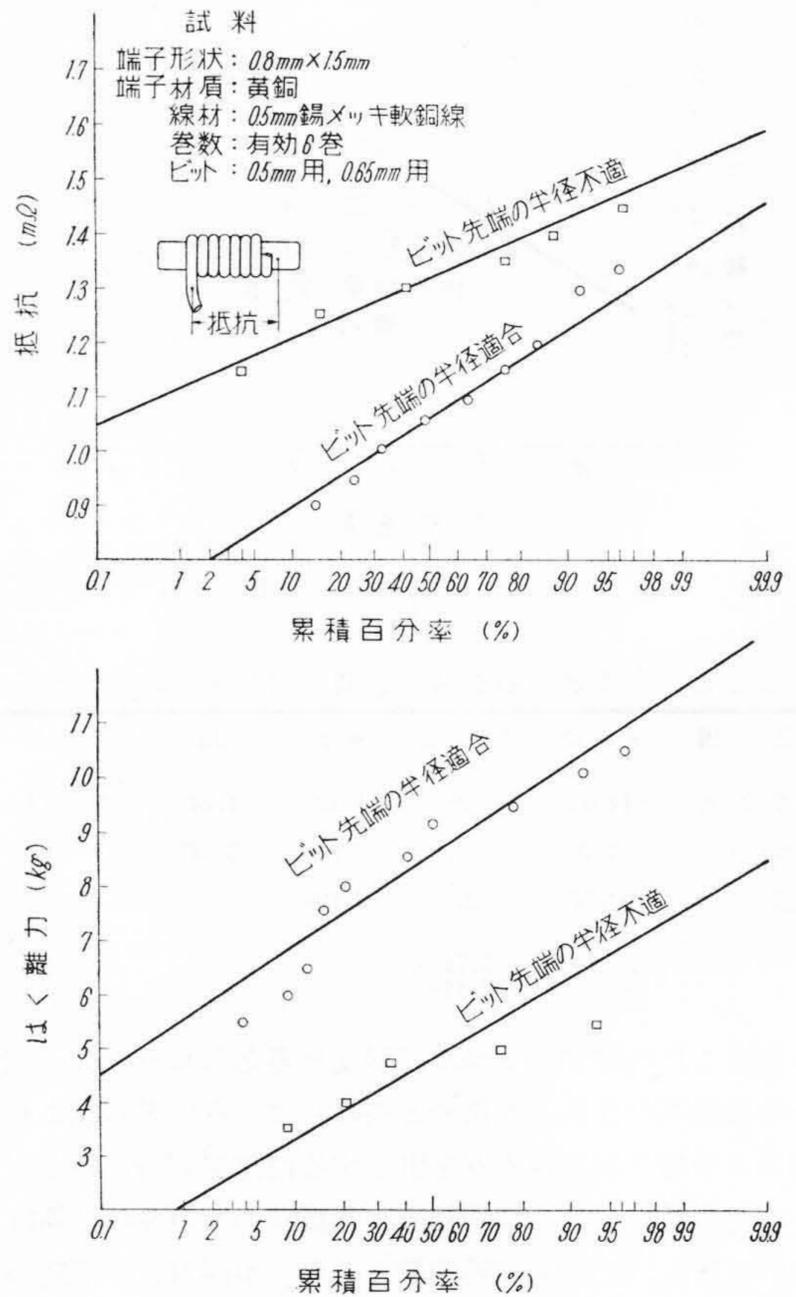
巻付接続では、前述のように巻付張力により線と端子隅角間に圧力が加わり、第12図のような喰込接触部分ができる。この接触部分には経時により拡散が起り、接続の安定度は巻付直後よりも増加するといわれている。これを確認することは、長期使用に対するこの接続法の信頼度を増すうえに重要なことである。これに対する検討結果を述べる。

この金属組織学的拡散においては

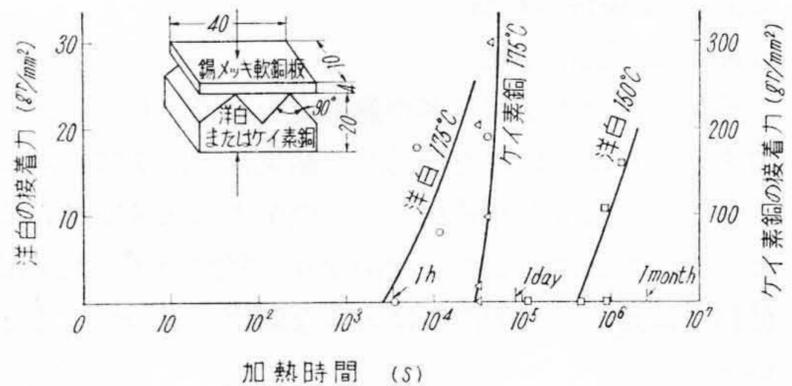
$$\text{平均侵入深さ } \bar{x} = \sqrt{2tD} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{拡散恒数 } D = Ae^{-\frac{Q}{RT}} \dots\dots\dots (6)$$

ただし R : 気体恒数, Q : 活性化エネルギー, t : 時間, T : 絶対温度, A : 定数



第18図 特性値に及ぼすビット先端円弧の半径の影響



第19図 金属拡散特性 (加熱時間—接着力)

であることが知られている⁽⁸⁾。したがって拡散現象の進行は温度と時間に依存している。(5),(6)式から温度を高めれば、短時間でも常温の長時間に相当する拡散の進行を与えることができることがわかる。

この拡散による常温長期使用での接続安定化の傾向を確認するため、第12図の線、端子間の圧着部に相当する等価模型を用意し、これを加熱促進し、この傾向を実験的に検討した。すなわち線と端子に相当する两部分間に負荷し喰込接触部分を作り、負荷のまま一定温度に加

熱し、加熱時間による两部分間の接着力の変化を測定した。この結果は第19図に示すとおり時間の経過に伴い、两部分間に接着が起り、機械的にも接続の安定性が增大することが認められる。したがって実際の巻付接続においても使用時間の経過に伴い、その接続が安定化する傾向をもっているものと考えられる。

5. 保証試験

巻付接続に及ぼす種々の条件の影響については上述のとおりであるが、この接続方法が長期にわたって特性を維持していることを保証するために、以下に述べる種々の保証試験を実施した。

5.1 試験の種類

5.1.1 放置試験

最も実地に即した試験として、実際の自動交換機にこの接続方法を適用した場合の特性を検討するため、日立製作所戸塚工場の200回線クロスバ式構内交換機を実用に供し、また別に作製した資料を寿命試験室に放置して、それらの変化を検討する試験を実施中である。そのほか、屋外に1年曝露した場合が9日間に相当するウェザ・メータによる促進試験を行い、紫外線ならびに降水の条件を周期的に加える試験も実施した。

5.1.2 冷却高温加熱試験

クロスバ交換機の寿命は40年を要求され、この間に生ずる周応力弛緩、金属拡散による接続特性の均一を保証する等価促進試験を行つた。すなわち温度 -17.8°C の低温槽に2時間入れ、その後 175°C の高温槽で3時間加熱して特性を測定した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

5.1.3 塩水噴霧試験

特殊な地域、たとえば海岸地帯や温泉地方で使った場合の特性を検討するため、液温 60°C 、濃度10%の塩水を2時間噴霧した後 100°C で2時間加熱し、ふたたびこれをくり返えず試験を行つた。なお温泉地方のガスに対する保証として、硫化水素による耐腐蝕試験も実施している。

5.1.4 振動試験

以上の静的状態に対する試験のほか、輸送時および動作時そのほかの振動に対する試験を行つた。すなわち約200kmの実地輸送試験ではまったく異常なく、さらに各種端子の確認のため供試品を前後、左右、上下に各2時間約2gの加速試験を行い、異常は認められなかった。

第3表 各種保証試験結果

(単位: 試験後/試験前)

特性値	試験の種類	放置試験	フェザ・メータ試験	冷却高温加熱試験	塩水噴霧試験	振動試験
線・端子間の抵抗		0.99	1.03	0.85	1.05	0.91
はく離力		1.01	1.50	1.01	0.90	0.81

注: 試料 材質: 黄銅 形状: 1×1 表面処理: 錫メッキ

5.2 試験結果

以上の各種保証試験結果の一例を試験前後の特性値の比で表わしたものが第3表である。

5.3 試験結果の検討

下記のような結論が得られる。

- (1) 接触部の電気抵抗は、いかなる苛酷な使用条件においても交換機として十分に使用できる。
- (2) 巻付線をはく離する力は、いかなる苛酷な使用条件においても十分大で、接続部分の機械的安定性の点にも問題なく、交換機として十分使用できる。
- (3) 長期放置試験結果より、長期間の使用に対しても十分巻付時の条件を継続しうる。

6. 結 言

通信装置の新しい回路接続法である無半田巻付接続は、従来の半田接続に比べて均一ですぐれた特性を有し、長期にわたって、種々の条件下に良好な接続状態を維持しうることを確認した。

またこれに用いるため実用化した日立JUW型巻付工具は、均一良好な接続が可能であることを確認した。無半田巻付接続は、この接続法開発の端緒となつたクロスバ交換機のみならず、通信装置の各分野に広く用いられることが期待できると思う。

終りに終始御指導を与えられた日本電信電話公社の関係各位、東大生産技術研究所鈴木弘教授、日立工機株式会社五味淵部長、日立製作所中央研究所南波博士および同研究室各位、御協力いただいた日立製作所戸塚工場の関係各位に対し感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 渡辺: 日立評論 36 (昭29-9)
- (2) A. C. Keller: B. S. T. J. 31, 6 (1952-11)
- (3) 小林, 篠原: 通研月報 10 (昭32-8)
- (4) 小林, 田島, 三井, 鈴木: 日立評論 40 (昭33-3)
- (5) J. W. McRAE 他: B. S. T. J. 32 3 (1953-5)
- (6) W. P. Mason & O. L. Anderson: B. S. T. J. 32 3 (1953-5)
- (7) 百合野: 通研月報 10 (昭32-9)
- (8) たとえば Wolfgang Seith: Diffusion in Metallen (1939 Berlin)