

ポリエチレンシースケーブルの溶着式接続法

Junction by Fusion Welding Method of Polyethylene Sheathed Cable

水上 徳五郎*
Tokugorô Mizukami

萩原 英二*
Eiji Hagiwara

川和田 七郎*
Shichirô Kawada

内 容 梗 概

筆者らはポリエチレンシースケーブルの新しい溶着式接続法を開発した。本方法はポリエチレンの溶着棒を押出式溶着工具により押出し、ケーブルの接続部を溶着させる方法で、十分に実用できることが判明した。また接続部ならびに溶着材料について各種機械的試験ならびに寿命試験を行なった結果、実用上まったく問題ないことが明らかにされた。

1. 緒 言

アルペス、スタルペスケーブルを含むポリエチレンシースケーブルの接続法は補助鉛管法を中心として開発されている⁽¹⁾。この方法は接続部の開閉が容易であることなどの利点をもつが、反面作業に時間がかかり、接続部の長さが長く、重量が重くなることなどの欠点がある。ポリエチレンシースケーブルの接続にはこのほか種々の方法が提案されている⁽²⁾が、まだ确实簡便な方法は見出されていない。筆者らはかねてから特殊の工具および溶着材料によるポリエチレンシースケーブルの溶着式接続法の研究を行っていたが、今回本作業法を完成し二、三の電力会社において使用実績を得たのでその結果を報告する。

2. 溶着式接続法の原理ならびに使用工具

プラスチックケーブルシースの溶着法には大別してコテによる方法、ホットジェットと溶着棒による方法、押出式溶着工具による方法⁽³⁾などがある。まずコテによる方法は現在ビニルシースケーブルに適用して好結果を得ているが、ポリエチレンシースの場合は作業性がおとり、実用することはむりである。ホットジェットを用い溶着棒により溶着させる方法⁽⁴⁾は溶着材料の酸化を防ぐため、ジェット気体に多量の窒素ガスを必要とし、またケーブルシースポリエチレンが均一に熔融しにくく、さらに過熱による分解などの恐れがあるため適用が困難である。

最後の押出工具による方法は日立電線株式会社が開発した方法であって、ポリエチレンの棒を押出式溶着工具により加熱押出しを行ない溶着させるものである。ポリエチレン相互を溶着させるとき、一番重要なことはポリエチレンシースあるいはスリーブ表面を熔融状態にすることである。冷えたポリエチレンの表面に熔融したポリエチレンを溶着させても十分な接合は得られない。

このため本溶着機の先端にはケーブルシースならびにスリーブを溶かすために特別に考慮された口金がある。これらの詳細については次章に述べる。

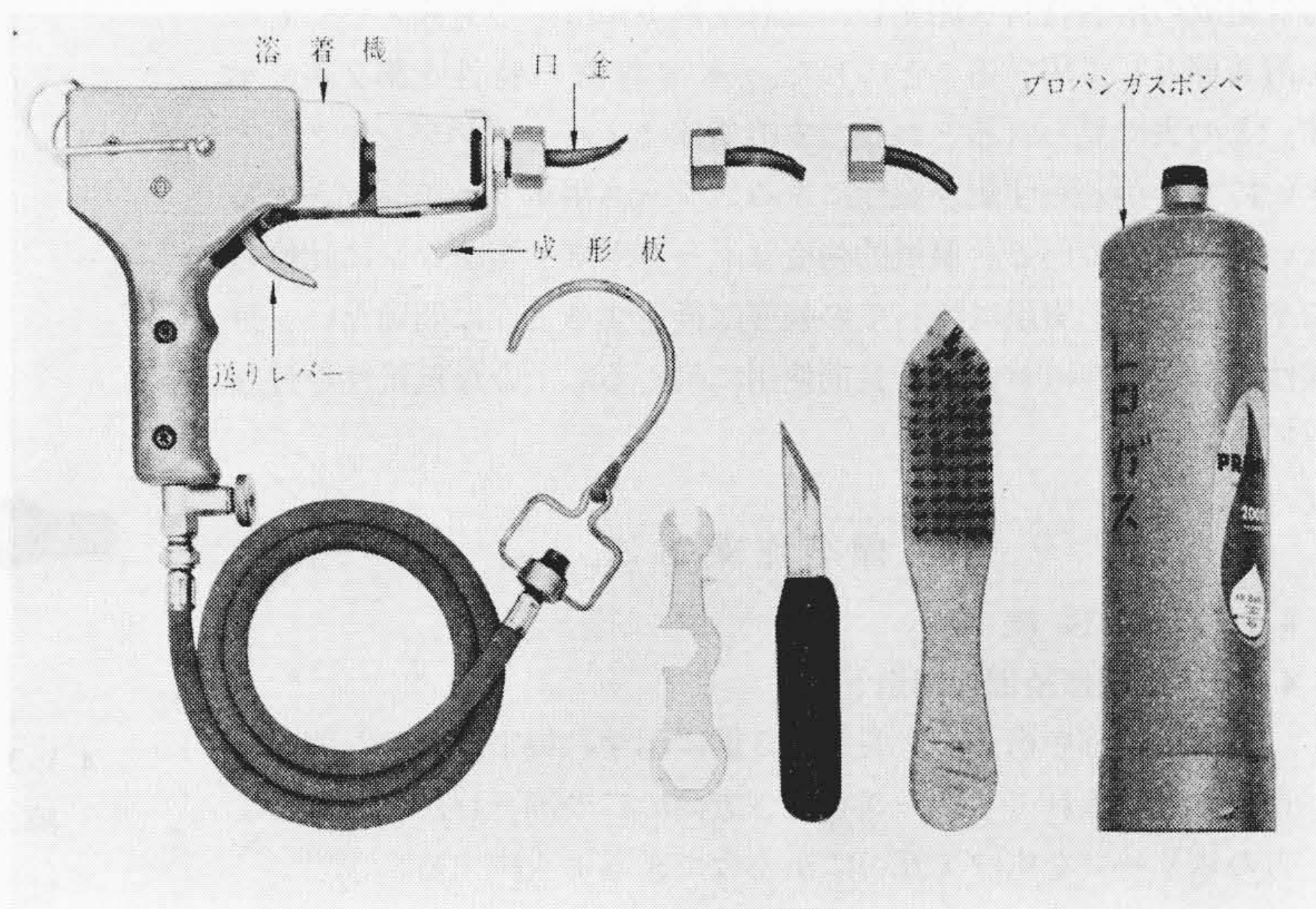
3. 使用工具ならびに材料

3.1 使用工具

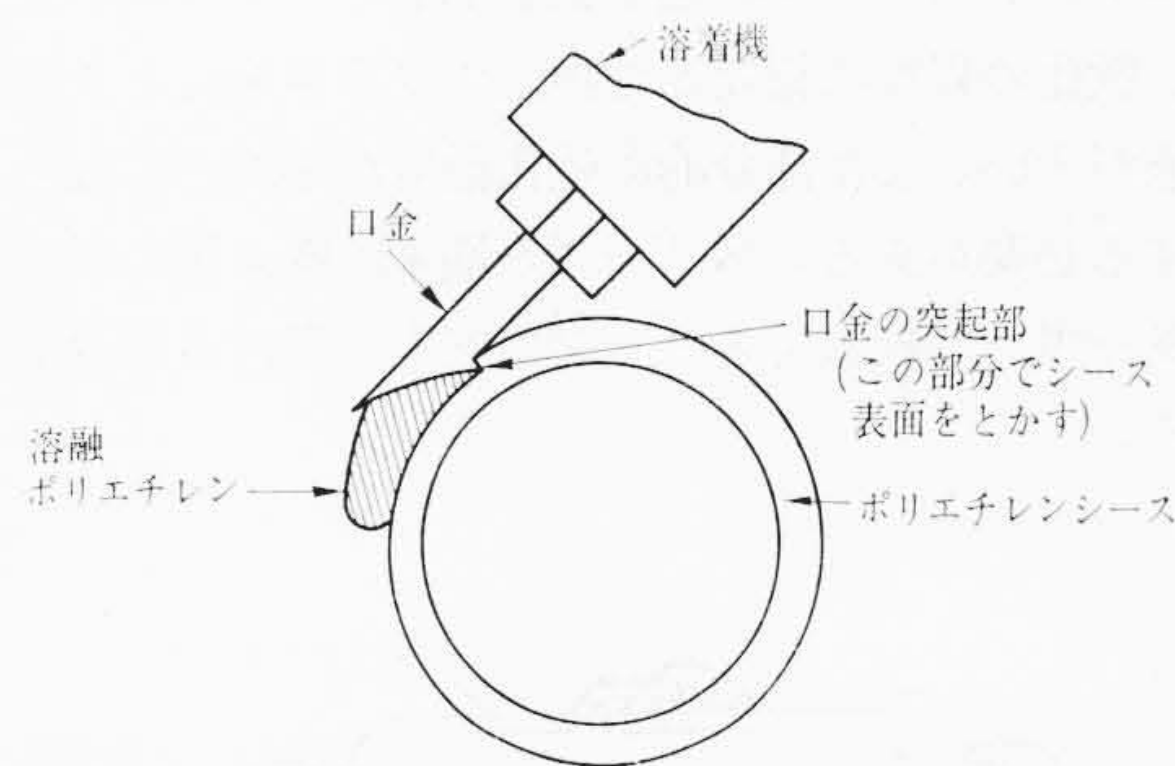
ポリエチレン溶着機の外観を第1図に、口金を第2図に示す。

第1図について本溶着機の機能を説明すると外径約9mmφポリエチレンの棒を押出機の後部よりそう入し、送りローラによって押出機内部に送りこむ。熱源にはプロパンガスバーナを使用し、携帯用小形ボンベよりガスを供給する。シリンダ内部のポリエチレン棒

* 日立電線株式会社日高工場



第1図 ポリエチレン溶着機の構造



第2図 溶着機口金の効果

第1表 溶着機の諸元

項 目	内 容
溶着機 総重量	1.050g
溶接機 の 大 き さ	長さ 250×高さ 200×幅 40 mm
溶接機 押出 圧 力	約 10 kg
溶接機 押出 部 分 温 度	220 +20°C -10°C
プロパンガス消費量	0.35 g/min
プロパンガスボンベの容量	0.34 kg (連続使用 17 h)

を熔融させた後送りレバーを操作することにより口金の先端から熔融したポリエチレンを押し出す(押出速度は10 cm/min程度が適当である)。口金には前述のように下側にポリエチレンの表面を溶かすための突起部が設けられており、この突起部でケーブル表面を溶かすことによって完全な溶着ができる。さらに口金の下部に取り付けられた成形板によって溶着表面をなめらかにする。次に本溶着機の諸元を第1表に示す。

第2表 溶着棒の特性

特 性	ポリエチレンシース	溶 着 材
メルトインデックス	0.28	6.5
硬 度 (D)	49	27
引張り強さ (kg/mm ²) 20℃	1.96	1.66
伸 び (%) 20℃	620	760
脆化温度 (℃)	-50 以下	-50 以下
応 力 裂 性 (Ball 法) F 50 (h)	>1,000	>1,000

3.2 溶 着 棒

溶着棒は完全な接合を完成するうえに工具とともに重要なものであって、溶融が鋭く、溶融粘度の低いものでないと簡便確実な作業は行なわれない⁽⁵⁾。しかし一般にこのようなポリエチレンは応力裂性、耐老化性などが乏しく実用できない⁽⁶⁾。われわれはこのために特殊組成の溶着材料を開発し、これを約 9 mmφ の丸棒としたものを溶着棒として用いることにした。本溶着棒の特性を第2表に示す。この表に見られるとおり、本溶着棒はメルトインデックスが大きいにもかかわらず耐き裂性に富み、シース用ポリエチレンと大差ない値をもっている。機械的強度はシース用ポリエチレンに比較してやや低い、実用に際しての強度は後述するように問題ない。耐候性、耐老化性においても長期使用に耐えるに十分な抵抗性を付与してある。

4. 標準作業方法

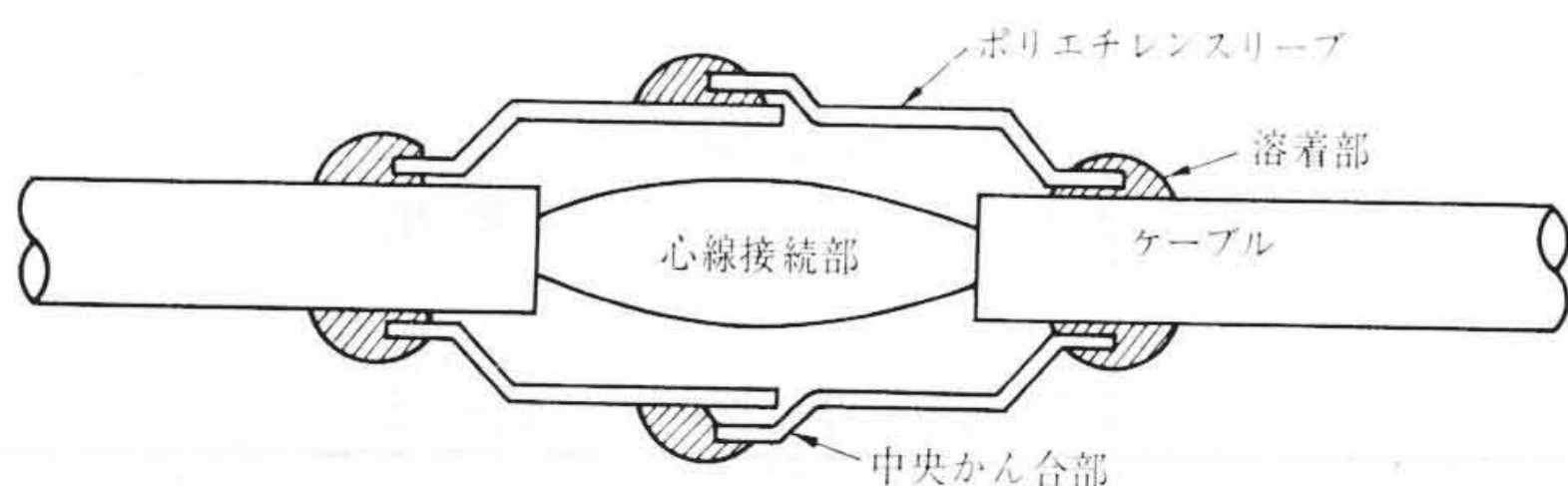
4.1 直 線 接 続 法

4.1.1 直線接続部の構造

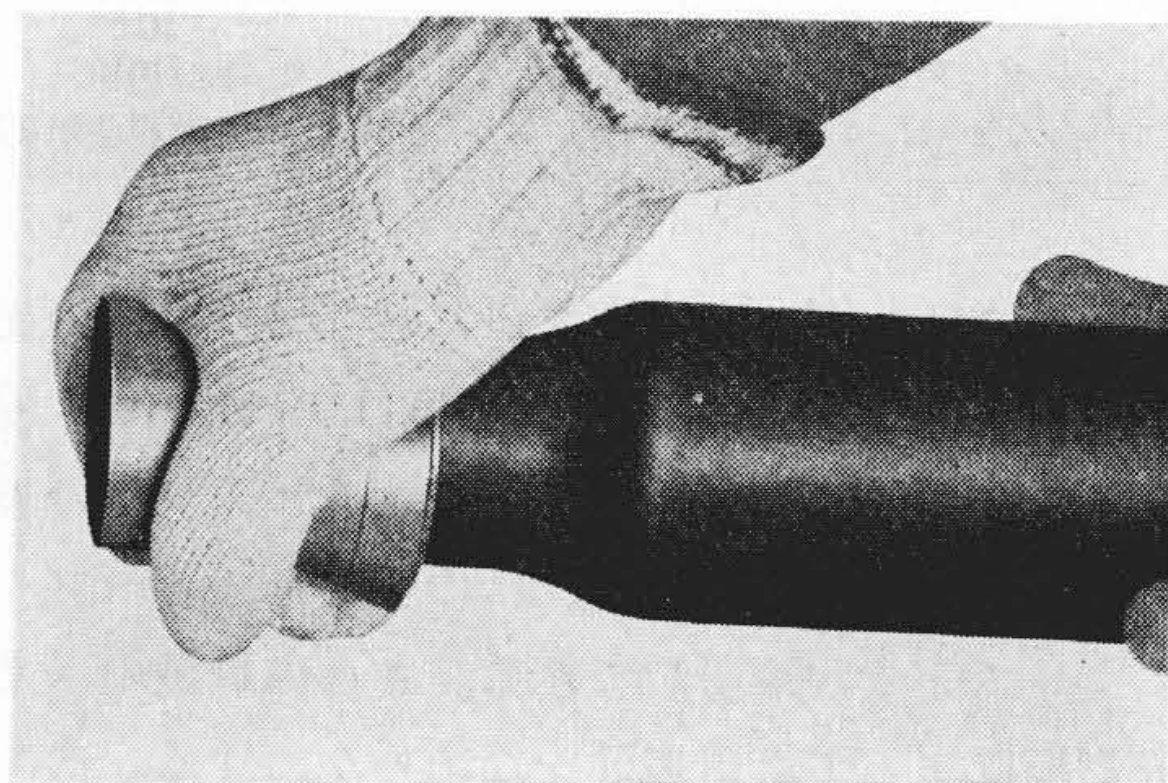
直線接続部の構造の概要を第3図に示す。将来接続部を開く場合を考慮に入れてスリーブを長さ方向に二つ割とし、合せ目で片方のスリーブを広げて互いにかん合できるようにする。

4.1.2 ポリエチレンスリーブの成形法

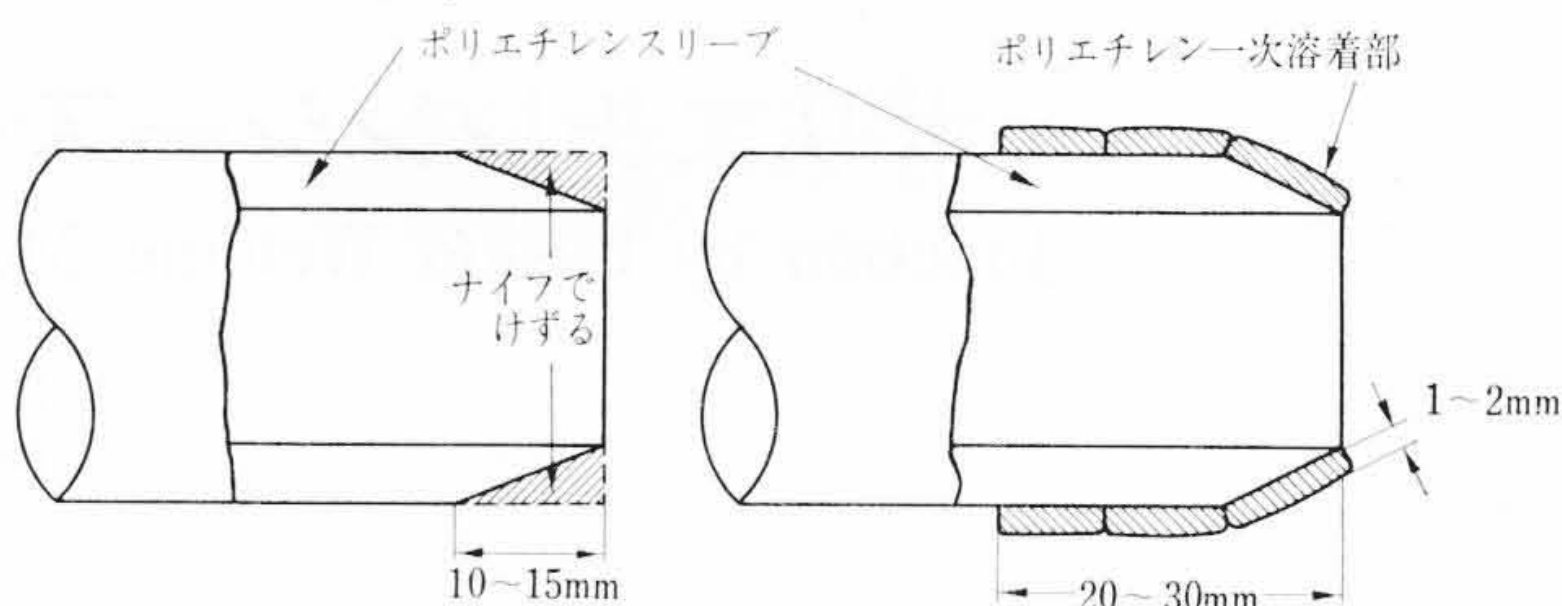
ガスバーナ(本溶着機のプロパンガスバーナを用いることも可)でポリエチレンスリーブの端末部を加熱し、ポリエチレンを軟化させる。軟化の程度は指などで押えて変形させたとき容易にもどらぬ状態がよい。また部分的に軟化温度が不均一にならないように注意する必要がある。スリーブの端末は第4図に示すように成形用金具を用いて絞る。スリーブの内径を広げる場合も同様の手順による。



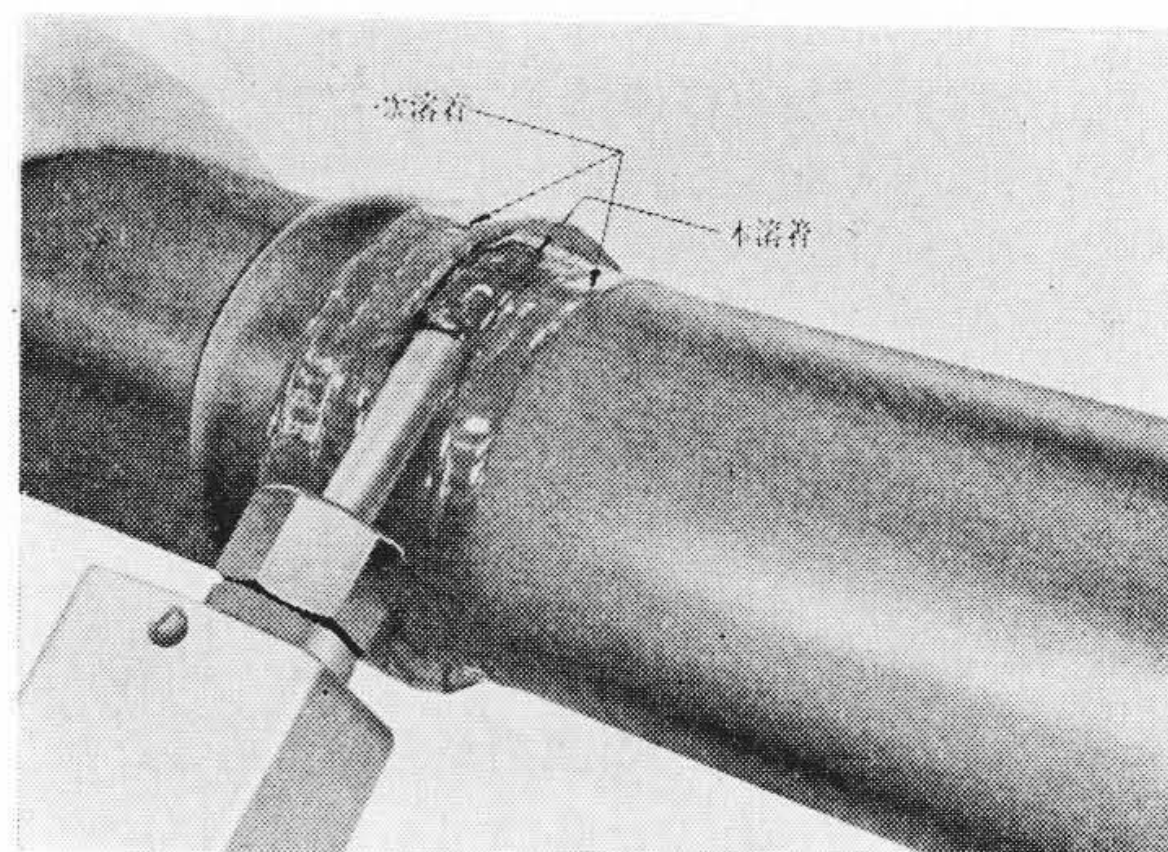
第3図 直線接続部の構造



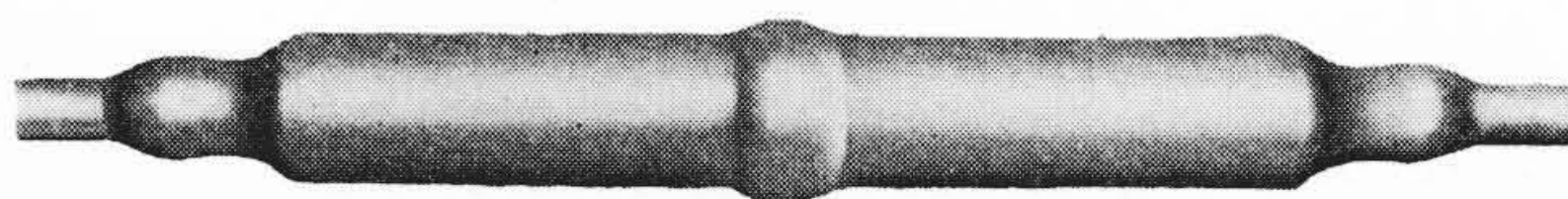
第4図 ポリエチレンスリーブの成形方法



第5図 ポリエチレンスリーブの一次溶着



第6図 直線接続部溶着作業の一例



第7図 直線接続部の完成形状

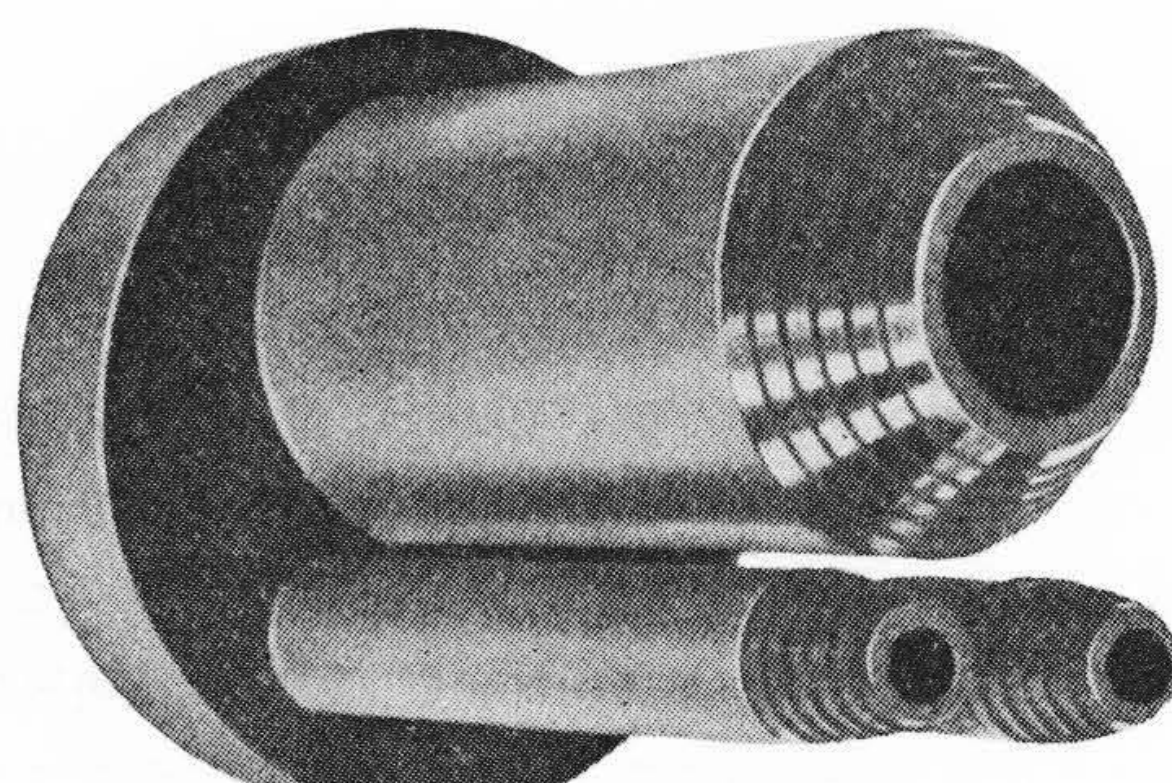
4.1.3 直線接続法の手順

第3図に示したように溶着作業は両端と中央部の3箇所について行なう。溶着作業の手順を述べるとまず第5図に示すようにスリーブの端末をナイフでけずって傾斜をつけたあと薄く円周にわたって第一次溶着を行なう。ナイフでけずり取るのは酸化したポリエチレンスリーブの表面をけずり取るためと溶着面積を広くするためである。次にケーブルについても同様の一次溶着を行ない、最後に両溶着部の橋渡しをするような方法で本溶着を行ない、さらに成形板で溶着部の表面を仕上げる。第6図に中央部の溶着作業(本溶着)の一例を示す。接続部の両端についても同様の溶着を行ない接続を完了する。第7図に本方法による直線接続部の完成形状を示す。なお作業条件が悪くケーブルの下側に溶着機をそう入する余裕のない場合は溶着口金の屈曲したものを使用する。

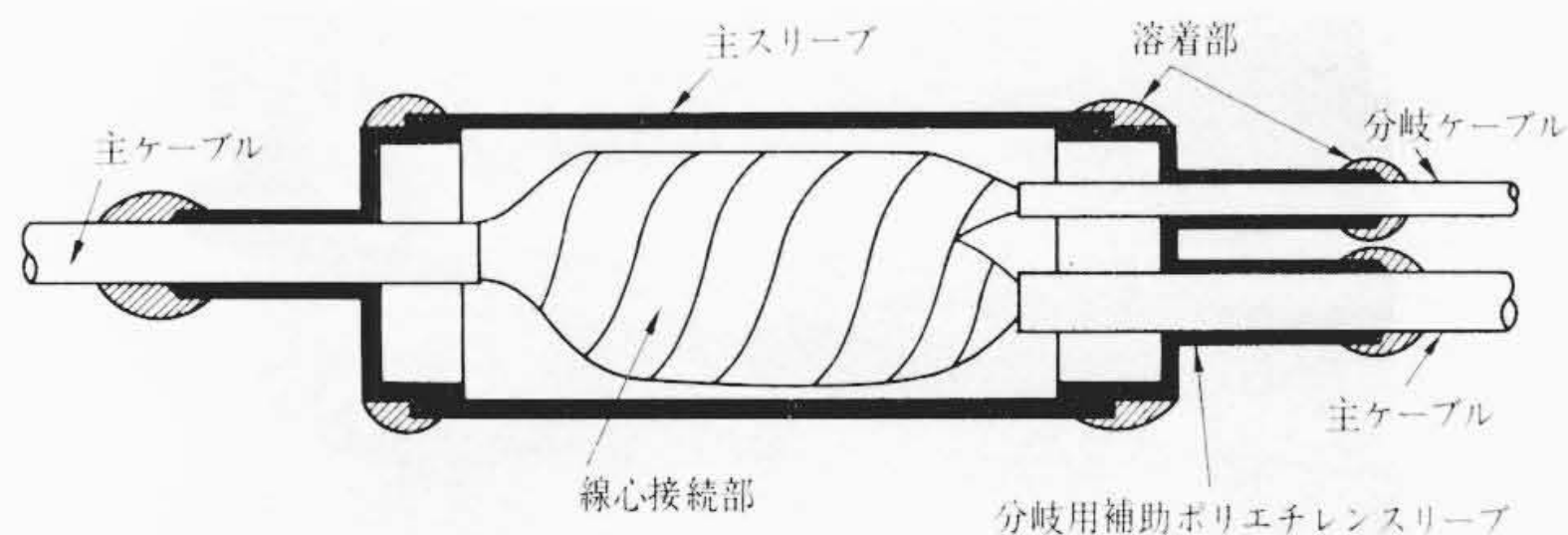
4.2 分 岐 接 続 法

4.2.1 補助スリーブによる接続方法

あらかじめ分岐する場所が明らかになっている場合には分岐用補助ポリエチレンスリーブを使用する。補助スリーブを第8図に、本方法による分岐接続部の構造を第9図に示す。この場合あらかじめケーブル外径に適応した補助スリーブを用意しておき、



第8図 分岐用補助スリーブ



第9図 分岐接続部の構造

補助スリーブとケーブルを溶着させた後補助スリーブと主スリーブの溶着を行なう。

この方法の利点は次のとおりである。

- (a) 接続部を容易に開くことができる（主スリーブをずらせる）。
- (b) 将来分岐ケーブルの本数増加が考えられる場合には、分岐用補助スリーブの分岐本数の多いものを使用し、先端を密閉しておく。

4.2.2 直線接続部より分岐する場合

直線接続部、または接続部でない所から新しく分岐ケーブルを取り出す場合、縦方向に割りを入れた補助分岐スリーブを使用する。溶着法は胴つぎ接続、背割接続いずれにも適用できるので各種応用作業が可能である。

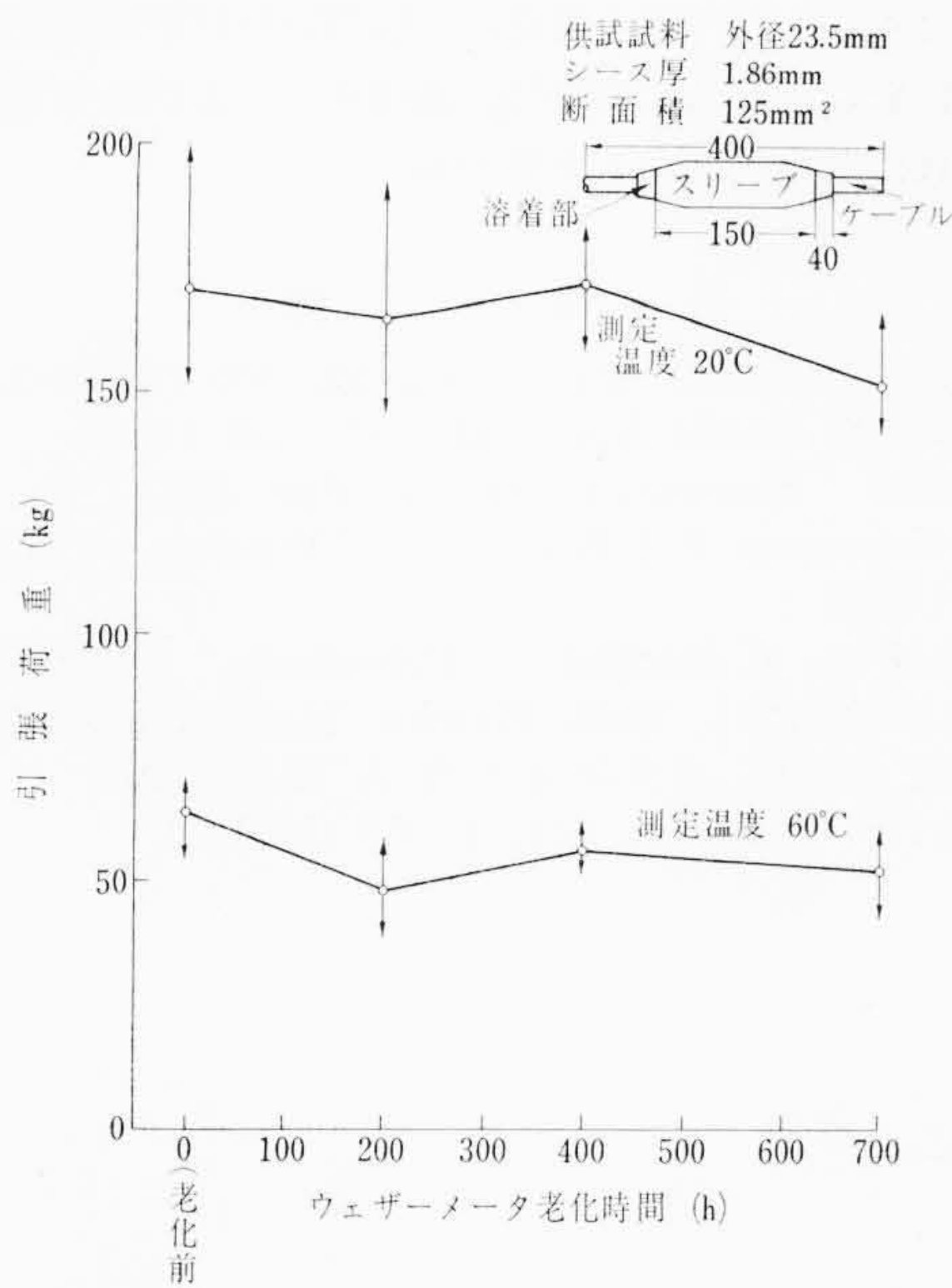
4.3 スタルペスシースケーブルの場合

スタルペスシースケーブルにはポリエチレンシースのほかに水密を目的とした鋼テープの層があるので接続部に対しても水密性の層を設ける必要がある。このため厚さ約0.15mmの薄鉄板で心線接続部をおおい両端を鋼テープのコルゲート部分にはんだづけする。さらにこのうえにポリエチレンスリーブをそう入し溶着法によって接続する。

5. 接続部の特性

5.1 接続部引張試験

溶着法により直線接続部を作成し、引張試験を行なった。供試ケーブルはケーブル外径23.5φ、シース厚1.86mm、シース断面積125mm²のものである。20℃および60℃における引張荷重、ならびに老化試験機にてそれぞれ200, 400, 700h 老化させた後の引張荷重試験を行なった。第10図は試験結果の取りまとめである。なお



第10図 接続部のウェザーメータ老化による引張り荷重変化

引張試験はケーブルシースのみに力が加わる方法で行ない、接続部のケーブル線心は切断してある。

第10図によると老化による引張荷重の変化はわずかである。溶着棒の素材についても同様の試験を行なっているが、老化による機械的強度の低下は見られず、老化について実用上の問題はないと考える。供試ケーブルのシース自体の引張り荷重は200kgであるから、接続部の強度はシース部の約85%となる。この程度の値であれば、実用に際して溶着部が弱点となって接続部が破断する可能性はほとんどないと考える。なお接続部にさらに強度が要求される場合には溶着厚さを厚くすればよい。

5.2 静荷重試験

直線接続部に長期にわたって荷重を加え溶着部の耐久性の試験を行なった。供試試料は7本、外径26.1φ、断面積151mm²のポリエチレンシースケーブルであり、荷重は45kg(0.30kg/mm²)とした。また微小のガス漏れを探知するため、ケーブルに1.5lのガスタンクを付属させている。現在試料作成後7ヶ月を経過しているがガス漏れは生じていない。

5.3 ヒートサイクル試験

静荷重試験と同一寸法の試料を用い、0~40℃のヒートサイクル試験を実施した。供試試料6本について14サイクルの試験を行なったがガス圧の低下は認められなかった。なお微小のピンホールを探知するため静荷重試験と同様1.5lのガスタンクを付属させている。

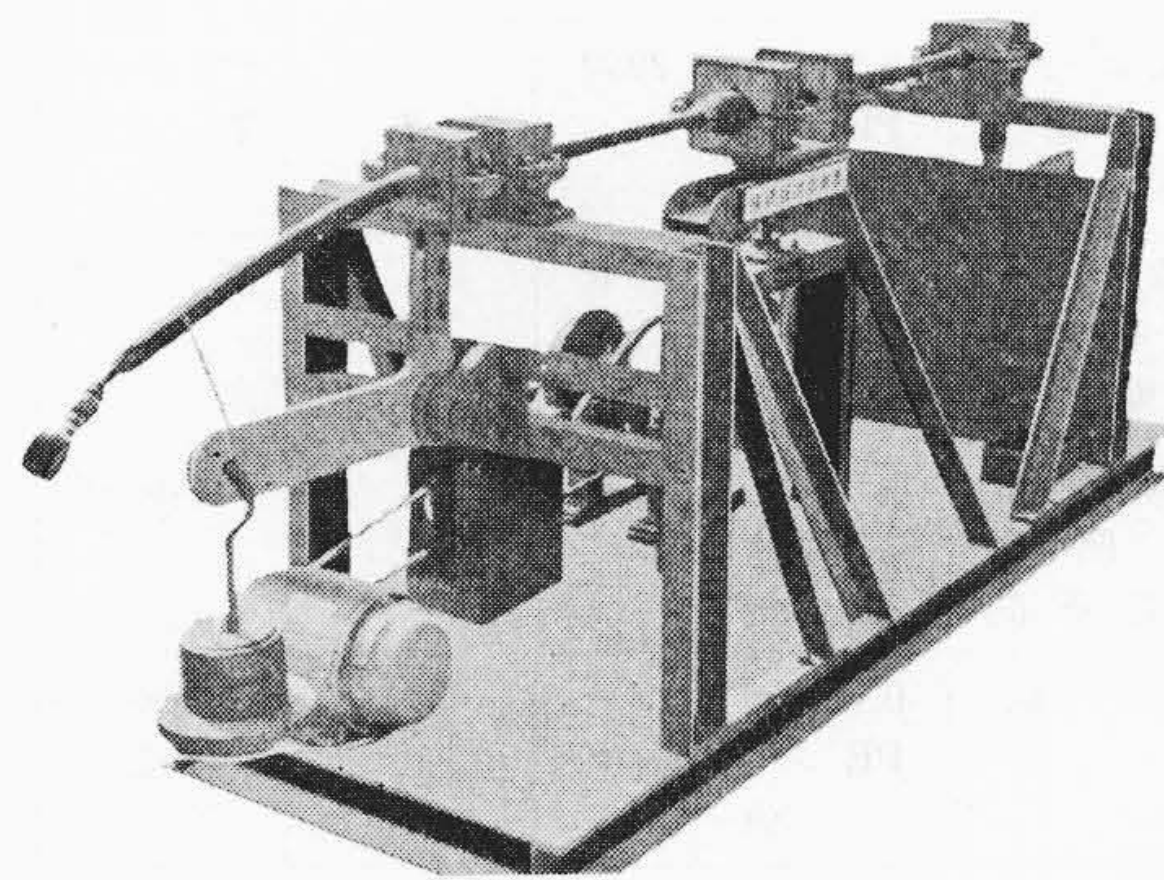
5.4 繰返し屈曲試験

直線接続部に1.0kg/cm²の窒素ガスを封入し、第11図の装置で繰返し屈曲試験を行なった。試験結果を第3表に示す。繰返し屈曲試験の結果は良好であった。ポリエチレン溶着法によれば補助鉛管方式の場合のように疲労現象がないので繰返し屈曲に対して全く安全であるといえよう。

6. 溶着棒ならびに接続部の老化特性

6.1 耐候性試験

溶着棒をシート状に成形した後ウェザーメータ⁽⁷⁾に取り付け、200~1,000時間経過後の特性を測定した。なお比較のためシース用ポリエチレンについても測定した。測定結果を第4表に示す。表の結果によると溶着棒、シース材とも老化による特性の変化はほとんどないといえる。密度は劣化にしたがい増加しているが、これは結晶化度の増加によるもので酸化の進行によるものではない。脆化（ぜい



第11図 繰返し屈曲試験装置

第3表 繰返し屈曲試験結果

振 幅 (mm)	周 期 (C/min)	屈 曲 回 数	封入ガス圧 (kg/cm ²)	結 果
10	350	3×10 ⁶	1.0	異常なし
50	90	5×10 ⁵	1.0	異常なし

第 4 表 溶着棒のウェザーメータ老化試験結果

材 料	特 性	老 化 時 間 (h) 注(1)				
		0	200	400	700	1,000
溶 着 棒	密 度	0.941 ₂	0.942 ₀	0.943 ₁	0.943 ₂	0.943 ₅
	脆化温度 (℃)	-60以下	-60以下	-60以下	-60以下	-60以下
	引張り強さ (kg/mm ²)	1.55	1.49	1.57	1.63	1.66
	伸 び (%)	702	688	685	695	680
	降伏引張り強さ (kg/mm ²)	0.49	0.50	0.54	0.58	0.60
	極 限 粘 度 注(2)	0.740	0.784	0.787	0.792	0.782
シ ー ス 材	密 度	0.929 ₈	0.930 ₆	0.931 ₂	0.933 ₂	0.936 ₈
	脆化温度 (℃)	-60以下	-60以下	-60以下	-60以下	-60以下
	引張り強さ (kg/mm ²)	2.10	1.92	1.90	2.14	1.94
	伸 び (%)	725	736	690	740	730
	降伏引張り強さ (kg/mm ²)	0.98	1.18	1.15	1.18	1.22
	極 限 粘 度 注 (2)	0.962	0.977	0.952	0.959	0.973

備 考
(1) 老化条件 器内温度 50℃ スプレーサイクル 12 min/min
(2) キシレン溶液で測定 (8)カーボンブラックは超遠心分離機により分離

第 5 表 加熱加工処理による溶着棒の特性変化

材 料		引張り強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	降伏引張り強さ (kg/mm ²)	脆化温度 (℃)
溶 着 棒	未 処 理	1.67	730	0.56	-60以下
	処 理 後	1.59	692	0.58	-60以下
シ ー ス 材	未 処 理	2.13	692	1.03	-60以下
	処 理 後	2.08	700	1.09	-60以下

か) 温度も変化はない。また極限粘度の変化も少なく、引張強さはむしろ増大している。以上の結果により接続部を長期間屋外にさらしても老化によって接続部の特性が極端に低下することはないといえる。

6.2 加熱加工，熱処理による変化

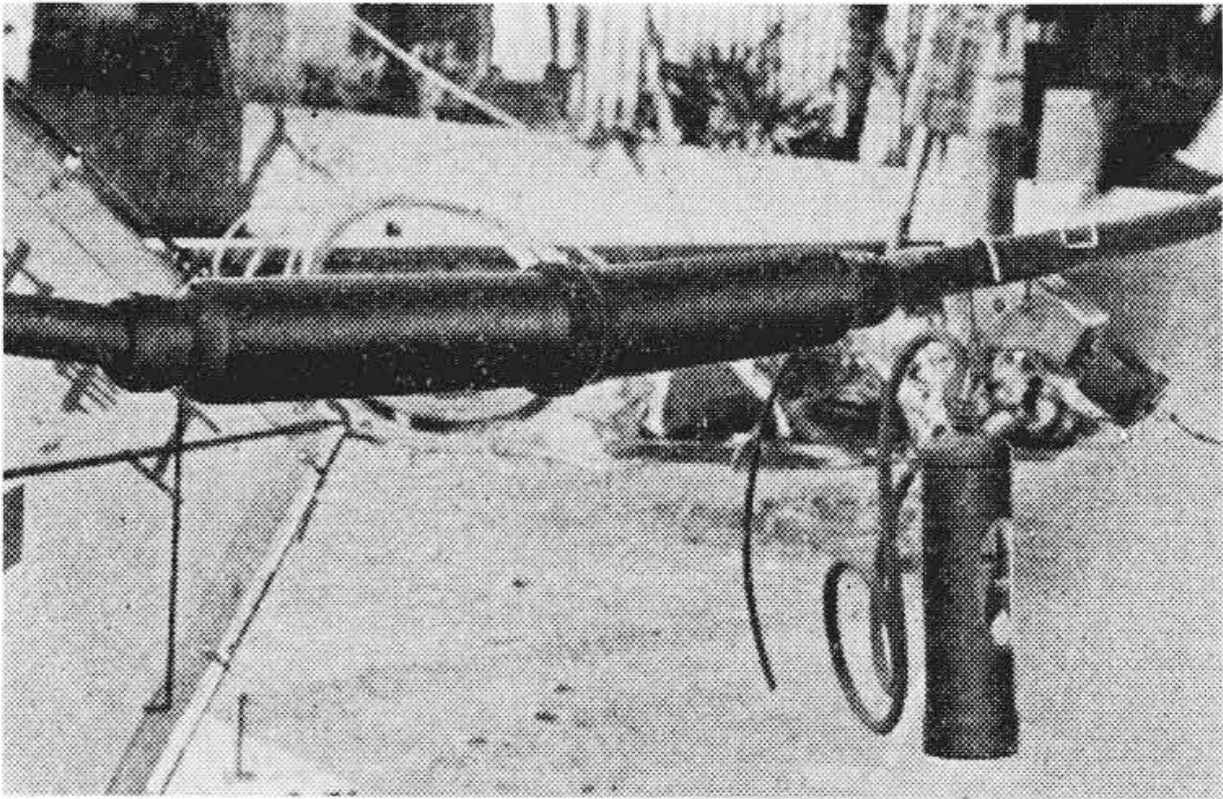
溶着棒は溶着機から押出される際、短時間ではあるが、かなり高温にさらされることになる。実際に熱電対で測定した結果によると約 230℃ で 1 ～ 2 分加熱されることが判明した。

これらを模擬するためハンドプレスにより 240℃ にて 2 分間加熱後急冷し、この操作を 5 回繰り返した後最後にこれを 160℃ で加圧してシートを作成した。供試試料について機械的強度および脆化温度を測定した結果を第 5 表に示す。

第 5 表の結果からみて溶着材、シース材とも熱処理による特性変

第 6 表 ポリエチレン溶着法による接続工事実施例

区 間	ケ ー ブ ル 品 種	接続箇所数	接続部の位置	接続方式
東京電力株式会社 品川火力発電所 東品川ボットヘッド間	0.9 mm, 20 対 PE シース	7	マンホール 架 空	直線 7
関西電力株式会社 大阪火力発電所 敷津変電所間	1.2 mm, 14 対 PE シース パイロットケーブル	2	架 空	直線 2
九州電力株式会社 堅粕開閉所 住吉変電所間	1.2 mm, 1 対 1.2 mm, 5 カッド PE シース 複合ケーブル	4	マンホール	直線 3 分岐 1
そ の 他	0.65×30 対 PE シースケーブル 他	10	ハンドホール など	直線 6 分岐 4



(スリーブの一次溶着完了の状勢)

第 12 図 関西電力株式会社における溶着作業状況

化は少なく、加熱加工処理による特性劣化の問題のないことがわかる。

7. 実ケーブルへの使用結果

本溶着法による接続方式はすでに東京電力株式会社、関西電力株式会社、九州電力株式会社納のポリエチレンシース通信ケーブルおよびパイロットケーブルの接続部に使用されて好評を博している。接続工事の内容を第 6 表に、また関西電力株式会社における接続工事の一例を第 12 図に示す。

8. 結 言

日立電線株式会社で開発したポリエチレン押出式溶着工具による接続方法の原理、使用工具、標準工法、接続部の特性ならびに二、三の使用実績について報告した。研究の結果によると本方法は従来の方法にくらべて熟練を必要としない簡単な方法であり、また接続部の機械的強度も十分実用に耐えるものであることが明らかになった。したがって押出式溶着工具による接続法はアルペス、スタルペスケーブルを含むポリエチレンシースケーブルの接続方法として好適のものであると考える。特に本接続部はポリエチレンスリーブを使っているので、振動に強く、橋梁添加部の接続には最適であるといえる。

終わりに本研究を遂行するにあたり種々ご指導いただいた日本電信電話公社技術局鳥山前調査役、新村調査役、通信研究所線路研究室朴木前室長、六戸室長、および東京、関西、九州各電力会社の関係のかたがたならびに日立電線株式会社斎藤専務取締役杉山部長に深謝するとともに、本作業の開発にご協力いただいた日立電線株式会社技術部佐藤氏、日高工場寺門、高橋両氏および日立電線機器株式会社大竹氏に敬意を表する次第である。

参 考 文 献

(1) 桧山, 沼口, 鈴木, 富沢: 施設 12, 105 (昭 34-3)
(2) Rubber & Plastic Age: 43 (5), 466 (1962)
(3) E. Kraus: Siemens, Z., 35 251 (Apr. 1961)
(4) J. A. Neumann, F. J. Bockhoff: "Welding of Plastics" p. 9 (1959)
(5) A. Renfrew, P. Morgan: "Polyethene" p. 492 (1957)
(6) K. A. Kaufman: Mod. Plastics, 34 (6), 146 (1957)
(7) 川和田, 吉川: 日立評論 別冊 9, 63 (昭 30)
(8) I. Harris: J. Polym. Sci., 8, 353 (1951)