

トロリ線常温圧接装置の開発



阿部 泰久* 佐藤 文久* 出野 市郎*

トロリ線の常温圧接は、トロリ線を直線接続する方式であり、接続箇所の重量増加を抑えられることから、従来のWイヤー金具を用いた接続と比較して接続箇所が集電性能に与える影響が小さいと考えられる。そこで、営業設備においてトロリ線常温圧接を導入するために必要となる諸技術の確立を目指し、在来線をターゲットとした装置等の開発を行った。具体的には、GT-Sn170及びGT-M-Sn170に対応した常温圧接装置の開発、実際の架線設備での施工性を考慮した常温圧接専用車の製作、それらを用いた京浜東北線 北行 新橋～田町間でのフィールド試験を行った。その結果、Wイヤー接続箇所の両端でトロリ線を切断し、2mのトロリ線を割り入れた場合においても、適正な集電性能を確保出来る事が確認出来た。

●キーワード：常温圧接 トロリ線接続 プロテクタ金具

1 はじめに

車両に電気を供給する電車線路設備のうち、トロリ線は車両側のパンタグラフと直に接触し、電力供給を行っている。トロリ線は、パンタグラフとの機械的な接触等により摩耗するため、常にその摩耗量を管理しながら、基準値以上に摩耗したトロリ線については張替を行う事で設備の機能維持を図っている。トロリ線は必ずしも均一に摩耗しないので、在来線では摩耗の進行した部分のみを順次張替を行う方法をとっており、トロリ線同士を途中で接続する必要がある。

従来のトロリ線接続方法としては、図1に示すように接続するトロリ線を平行にそろえた状態でWイヤー金具を用いて固定する方法(Wイヤー接続)が用いられてきた。しかしながら、Wイヤー接続は①Wイヤー金具が1個450g～800g(架線形式により異なる)と重いこと、②1箇所につき約30cmの間隔で3個取付けていること、③接続部ではトロリ線を2本平行に並べていること、といった構造上の理由により、接続部での集電性能の低



図1：Wイヤー接続方式(左上はWイヤー金具単体)

下および摩耗等を含めた課題を有しており、保全上の懸念箇所となっている。それらの理由から、新幹線においてはWイヤー接続等の中間部でのトロリ線接続は行わず、局所的な摩耗であっても引留～引留までの全てのトロリ線を張替える事で対応している。

そこで、Wイヤー接続に替わる新たなトロリ線の接続方式として、トロリ線を常温圧接により接続する方式に着目し、常温圧接装置の開発および実際の営業設備を用いた圧接箇所の摩耗状況等の検証を行ったので、その成果を紹介する。

2 トロリ線常温圧接装置の開発

2.1 トロリ線常温圧接の概要

トロリ線常温圧接の概要について図2に示す。圧接の手順は、はじめに圧接面に酸化皮膜以外の不純物(水・油等)が付着していない状態にしたトロリ線を用意し、突き合わせた形でダイスに固定する。次に、固定した2本のトロリ線を強く押しつける事で、塑性変形により圧接面を外側に押出し、トロリ線同士を接合するものである。常温圧接は、圧接面の酸化皮膜を塑性変形により取除くことで、金属の原子間引力及び電子の相互拡散により接続する技術であるため、他の介在物(接着剤等)や熱を加える事なく、トロリ線の材質に大きな変化を与えず接合できる特長がある。

トロリ線の常温圧接については、旧国鉄の鉄道技術研究所を中心として、1957年頃から研究及び実際の設備を用いた検証を積み重ねてきた歴史があり、常温圧接での接合状況の研

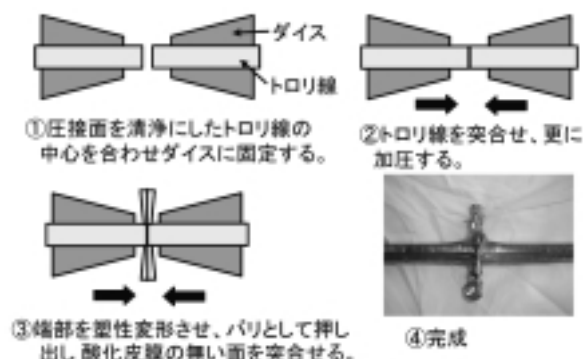


図2：トロリ線常温圧接の概要

究や安定した接続を行うための手法については既に確立している¹⁾。当テクニカルセンターにおいても、1992年頃からGT-Sn110（公称断面積110mm²のすず入り硬銅トロリ線）を新たに接続の対象として加え、軌陸車に載せて使用する事が出来る装置の開発を行い²⁾ツインシンプル区間を中心にフィールドでの施工を実施した³⁾。そこで、実際の設備において安定した接続を確保する為の技術のうち、主なものについて下記に簡単に述べる。

(1) 捻断による圧接面の清浄性の確保

実際に設備されているトロリ線を常温圧接により接続するためには、周囲環境の影響を受けにくく、簡易に圧接面の清浄性を確保する方法を確立する必要がある。常温圧接による接合が失敗するほとんどの原因は、圧接面に酸化皮膜以外の不純物が付着した状態で圧接を行った事である。従って、圧接面の清浄性を安定して確保することは、トロリ線常温圧接の実用化にあたり最も重要な技術であった。

圧接面の清浄性を確保する為には、端面を刃物で切断する

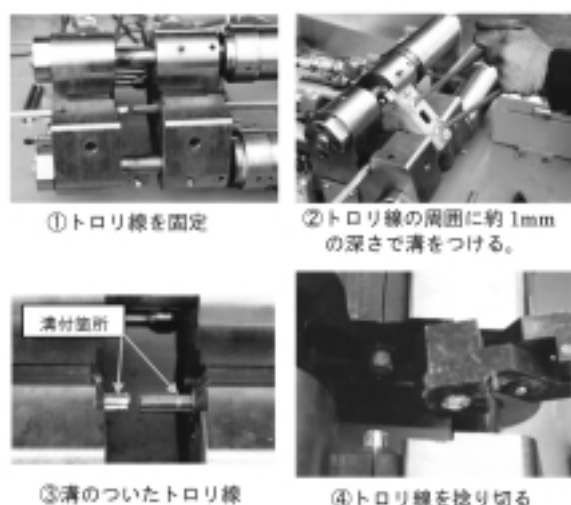


図3：捻断工法の手順

方法、付着物をブラシ等で落とす方法、薬剤で洗浄する方法などが考えられたが、これらの方法では工具等に付着した不純物の管理も必要となる。そこで、図3のようにトロリ線の周囲に1mm程度の溝を付け、その後トロリ線を数回往復して捻ることにより切る「捻断」という方法が考案された。この捻断により清浄な圧接面を確保する方法を用いることで、刃物等の方法と比較して不純物が圧接面に付着する可能性があるのは周囲1mm程度に限られ、安定した品質が得られている。

(2) 3段圧接による圧接の安定性向上

常温圧接は、バリとなって押出される量が多いと酸化皮膜等の不純物がより確実に押出され、接合の品質が安定する。しかしながら、1度に塑性変形させる長さ（圧接代）を大きくとりすぎると、特に摩耗しているトロリ線においては座屈する可能性がある。

そこで、圧接を3回に分けて行う3段圧接が推奨されている。図4に3段圧接の方法と各段階でのトロリ線の状態を示す。3段に分けることによって、座屈する心配がなく圧接代を大きく確保する事ができ、施工品質のバラツキを小さくすることができた。

その他、圧接後に引張試験を行い圧接不良のチェックする

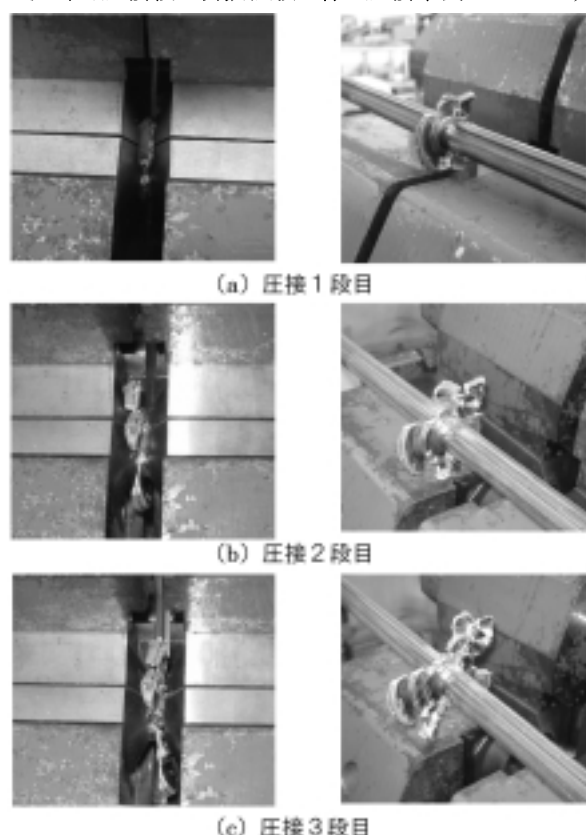


図4：3段圧接の各工程

機能の導入等が研究され、装置に反映されてきた。

それらの実績を踏まえて、新幹線や在来線のインテグレート架線等で用いられているGT-Sn170（公称断面積170mm²、すず入り硬銅トリ線）及びGT-M-Sn170（同、異型丸型硬銅トリ線）（以下、GT170系トリ線と略す）に対応した圧接装置の開発、及びフィールドでの施工性を考慮した常温圧接専用車の製作を行った。

2.2 GT170系トリ線対応常温圧接装置の開発

これまでのトリ線常温圧接は、主にGT-Sn110トリ線を対象として開発されており、GT170系トリ線の圧接が実際の現場で行える装置については、未開発であった。そこで、GT170系トリ線に対応するとともに、現地での作業性を考慮した常温圧接装置、及び開発した装置を組み込んだ常温圧接専用車を製作した。以下に主な開発項目と概要を示す。

2.2.1 GT170系トリ線への対応

GT170系トリ線を圧接する装置の製作にあたっては、これまでの知見から単位断面積当たりにかかる圧接力を同じにするという考え方を基本に、機器の仕様を決定した。表1に今回製作した常温圧接装置と従来のGT-Sn110用装置との比較を示す。結果としては、トリ線の断面積の比率とほぼ同じだけ圧接力及びトリ線のクランプ力を増大させている。また、圧接後に続けて行う引張試験についても、トリ線張力が14.5kNの区間（インテグレート架線）を想定し、同様に24.5kNと増大させている。圧接方法については、従来の装置で実績のある3段圧接を採用し、圧接により塑性変形させる圧接代については断面積の比率分だけ長くとしている。圧接力は最大で490kNとなっており、その圧接力はトリ線を把持するダイスの先端部に集中する為、材料等については見直しを行った。

表1：GT170系トリ線常温圧接装置の仕様

項目	装置の仕様 (GT-Sn170)	従来装置 (GT-Sn110)	比率 [*]
断面積[mm ²]	169.70	110.80	1.53
圧接力[kN]	490	294	1.67
クランプ力[kN]	24.5	14.7	1.70
圧接代(3段) [mm]	25+15+15	15+10+10	1.57
引張試験[kN]	24.5	14.7	1.67

※GT-Sn110を1とした時のGT-Sn170の増加倍率

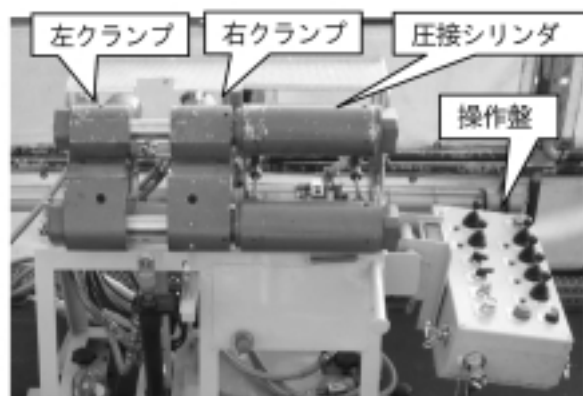


図5：製作した常温圧接装置

図5に開発した常温圧接装置の概観を示す。本装置は、接続するトリ線をそれぞれ固定する左右のクランプ用シリンダが2本と圧接用シリンダ2本で構成されている。左右のクランプのうち、左側は固定として右側のみが移動し、固定側に押し付ける方式となっている。3段圧接の工程については自動化されており、圧接に要する時間としては、3段圧接に約3分、その後の引張試験に約1分の合計で4分以内に終了する。

本装置は、ダイス等を取替える事でGT-Sn110の圧接も可能であり、その際には表1に示したGT-Sn110の各圧力で動作を行う機構となっている。また、摩耗したトリ線の圧接については、GT170系トリ線で12mm以上、GT-Sn110トリ線で10mm以上の残存径があれば接続できる仕様とした。GT170系トリ線で13mm以上、GT-Sn110トリ線で11mm以上の残存径がある場合は、新線を圧接するダイスと同じダイスで圧接を行う事ができ、それよりも摩耗したトリ線については、摩耗したトリ線用のダイスを使用して圧接を行う。

表2に製作した常温圧接装置を用いて各種トリ線を圧接し、引張試験機を用いて破断荷重を測定した結果を示す。引張試験の結果、試験体は何れも圧接面から20mm程度離れた箇所でも母材から破断（図6）した。これは、圧接面においては加工硬化がおこっていること、さらに圧接面の断面積はイヤーの溝部が無く、他の部分よりも断面積が大きくなっていることによると考えられる。以上の試験結果から、本装置を用いてGT170系トリ線の常温圧接を行なえることが確認できた。また、同表の他にもこれまで数多くの圧接試験を繰り返しているが、その過程で圧接不良が発生した場合のほとんどは、捻断後に圧接面の清浄性が保たれなかったことが原因であり、その点に十分な注意を払うことで圧接不良は防止できるとの結論が得られて

表2：開発した常温圧接装置での試験結果

	線 種	残存径 [mm]	試験数 [本]	破断荷重 [kN]	規格値 [kN]	破断箇所
新 線	GT-Sn170	15.49	5	67.5～67.8	58.9	全て母材から破断
	GT-M-Sn170	15.30	5	68.4～68.7	59.6	全て母材から破断
	GT-Sn110	12.34	5	46.0～45.8	40.2	全て母材から破断
摩 耗 線	GT-Sn170	12.00	5	55.2～58.1	54.0	全て母材から破断
	GT-M-Sn170	12.00	5	58.6～59.0	54.0	全て母材から破断
	GT-Sn110	10.00	5	39.8～41.6	36.9	全て母材から破断

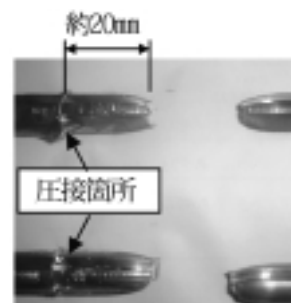


図6：試験後のトロリ線

いる。

2.2.2 捻断工程の油圧機構化

捻断は、2.1で述べたように常温圧接の品質を確保する上で最も重要な技術である。従来の捻断工程は、溝入れと捻りの工程に別れ、それぞれ専用の工具を使って作業者が施工を行っていた。

今回、GT 170系トロリ線を対象とした事で、捻断に必要な力も大きくなり、作業者が捻り切る方式では限界があると考えられた。そこで、油圧を用いた捻断工具の開発を行った。図7にその外観と動作状態を示す。油圧式捻断工具は、溝入れと捻りの工程を一つの工具で一連の動作として行えるよう設計されている。溝入れ用の歯が両端についた工具を食込ませ、その状態で架台下部から伸ばしたシリンダを上下する事で、トロリ線自体を軸として捻断工具を回転させ、捻りを加える機構である。各線種に合わせて、専用の溝切歯とダイスを入替えることにより、全ての線種に対応することができる。

捻断工具の油圧化により、作業者の負担が軽減されるとともに、捻断工程の大幅な時間短縮を行うことができた。

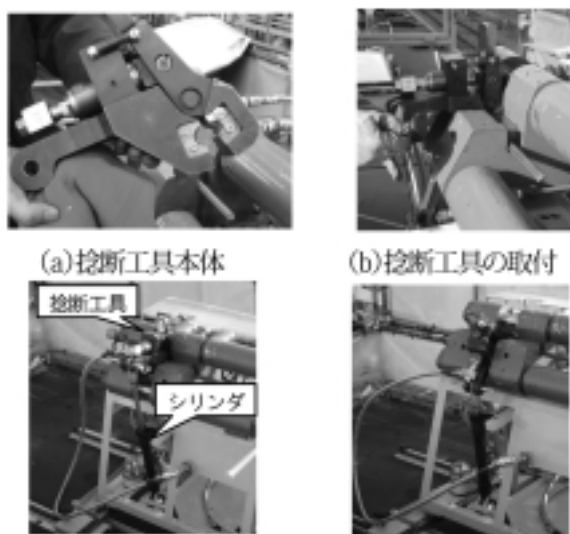


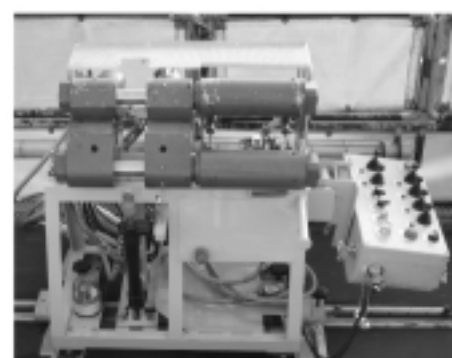
図7：油圧式捻断工具

2.3 常温圧接専用車の開発

トロリ線の常温圧接装置を用いて実際の設備での施工を考えた場合、作業性の向上や作業台上の機器の軽量化等が求められるため、常温圧接装置と軌陸車を一体化した常温圧接専用車の開発が必要であると考えられた。そこで、試作車として常温圧接専用車の開発をおこない、4章で述べるフィール



(a) 常温圧接専用車の外観



(b) 常温圧接装置本体及び操作盤



(c) 油圧装置及び発電機

図8：常温圧接専用車

ト試験にてその施工性等の確認を行った。ベースとなる軌陸車としては、保守部門で使われていた旧型の軌陸車を活用し、開発した常温圧接装置を組付ける事で常温圧接専用車を製作した。

図8に製作した常温圧接専用車の概観および表3にその仕様を示す。施工時の作業性及びトリ線に無理な力がかかる事を防ぐために、線路方向に $\pm 300\text{mm}$ 、偏位方向に $\pm 200\text{mm}$ の範囲で装置単体が作業台上を自由に移動出来る構造(図9)となっている。また、作業台上には常温圧接装置と操作盤及びその架台のみとし、下部の荷台に油圧源及び電磁弁等を配置する構造とする事で、作業台上の装置重量を約190kgに抑えた。その結果、施工時には3~4人の作業者が常時作業出来る環境となり、施工性も向上している。

表3：常温圧接専用車の仕様

項目		仕様
接続線種		みぞ付硬銅トリ線GT-110、GT-170、GT-M-170 すず入り硬銅トリ線GT-Sn 110、GT-Sn 170、GT-M-Sn 170
110用	旧線トリ	残存径10mm以上
170用	旧線トリ	残存径12mm以上
110用	引張試験荷重	14.7[kN] (1500[kgf])
170用	引張試験荷重	25.4[kN] (2500[kgf])
発電機	電圧	200[V] 3相 (100[V]単相)
	電流	10[A] (200[V]) 5[A] (100[V])
	タンク容量	13.5[L]
	使用燃料	自動車用無鉛ガソリン
油圧ポンプ	電動機	AC200 3相 750[W]
	最高圧力	70[MPa]
	吐出量	0.45[L/min]
	タンク容量	15[L]
	作動油	JIS VG32
質量	圧接本体	約130[kg]
	架台等	約60[kg]
	油圧ポンプ	約60[kg]
	電磁弁ユニット	約80[kg]
	発電機	約122[kg]
付属品	切断工具	溝入れ、検回部自由圧動 溝入れ刃：GT110、GT170 (GTM170兼用)
	圧縮機	100ton用圧縮機 (SR100CT-3)
チャック	新線用	110用、170用、M170用各1セット
	旧線用	110用、170用、M170用各1セット



(+300mm、右200) (−300mm、左200)

図9：常温圧接装置の作業台上での移動範囲

3 新型プロテクタ金具の開発

圧接箇所の経年変化については、集電電流の影響等も考慮する必要があり、実設備と同条件での長期的な耐久性の確認は困難である。従って、営業線での施工にあたっては、万が一圧接面の剥離といった事態が発生した場合にも運行等に支障を及ぼさない対策として、プロテクタ金具等の機械的な固定方法が併用されてきた。本開発においても、適切なプロテクタ金具を取付けることは、トリ線を直線接続化出来るというメリットは変えずに事故等のリスクを低減出来ると考え、施工時に作業の負担にならず、施工後も集電性能の障害原因とならない軽量な新型プロテクタ金具の開発を行った。従来のプロテクタ金具は、標準張力9.8kNの架線系に対応するもので約430gの重量があり³⁾、同様な考え方で標準張力14.8kNや19.8kNの金具を製作した場合には、プロテクタ金具の重量が架線の集電性能に影響を与えかねないという課題を有していた。

新たに製作した軽量なプロテクタ金具と従来のプロテクタ金具の仕様を含めた比較を表4に示す。新たなプロテクタ金具を製作するにあたっては常温圧接後に取付ける事を前提として、①耐引張荷重値の安全率を自動張力調整装置の変動範囲を考慮した1.15に見直すこと、②電流経路としてプロテクタ金具使用しないこと、といった前提で金具仕様の見直しから行った。

また、従来のボルトやリベット等でトリ線へ取付ける方法ではなく、図10に示す様に電線の圧縮接続に用いる100t圧縮器を用いて、金具の歯部を直接トリ線に押付ける事で、歯をより深くトリ線に食込ませる取付方法を採用した。その結果、標準張力14.8kNのトリ線に対応した金具で、約330gと軽量なプロテクタ金具を開発する事が出来た。取付けに関しても100t

表4：新型プロテクタ金具の仕様

項目	新プロテクタ金具 (9.8kN, 14.7kN共用)	従来品 (9.8kN用)
耐張力	標準張力×1.15	標準張力×2.2
抵抗値	考慮しない	考慮する
外観		
取付方法	100t圧縮器による一括圧縮	ボルト又はリベット
寸法 W×D×H	115×20×24.5[mm] (本体のみ)	100×22×26[mm]
重量	約330[g]	約430[g]



(a)金具取付用100t圧縮器



(b)施工時

図10：新型プロテクタ金具の取付方法

圧縮器を用いた1回圧縮とした事で施工性が向上し、圧縮後の変形はほとんど無い状態にする事が出来た。

4 トロリ線常温圧接のフィールド試験

開発した常温圧接専用車の施工性確認、及び常温圧接箇所が架線の集電性能に悪影響を与えない事を確認するため、営業線でのフィールド試験を実施した。試験区間としては、東京電線技術センターの協力のもとで、短期間で圧接後の集電性能の確認及び異常摩耗の発生が無い事を確認できる箇所として、通過パンタグラフ数の多い京浜東北線 北行(大宮方面行き)新橋～田町間を選定した。

試験の概要について、図11に示す。試験はワイヤー箇所の常温圧接接続化を中心に下記の3パターンを実施した。

- ①ワイヤー接続を外して、中間部で接続
- ②ワイヤー接続の両端を切断し、約2mの新品トロリ線を割入れ(今回の試験では、予め新線の摺動面を摩耗状況にあわせて削っておく)
- ③プロテクタ金具のみを単独で取付

特に、②の2mのトロリ線割入れに関しては、従来のワイヤー接続ではこれほど近づけて接続点を設ける事は集電性能への影響から行われていなかった長さであり、常温圧接により接続点を任意の位置に設ける事が出来ることを確認する狙いがある。

施工は、2004年5月～6月にかけて行った。施工前に施工

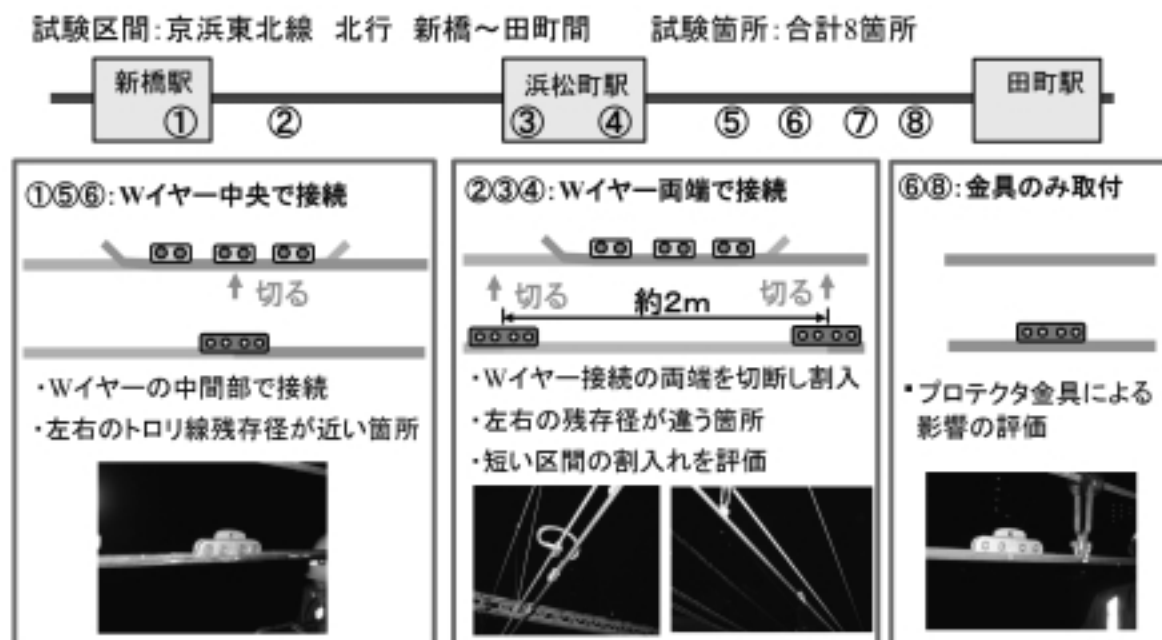


図11：フィールド試験の概要

会社(日本電設工業(株))に対して2日間の装置取扱講習を行った事もあり、施工は比較的スムーズに終了し、講習を行えば一般的な工事として十分行える作業である事を確認できた。施工に要した時間は、①のWイヤーの中間接続で約70分、②のWイヤーの両端で接続する場合で約110分であった。全体としては、圧接作業にかかる時間よりも、圧接後の摺動面を整理する作業やトリ線の曲がり癖を取る作業に時間がかかっている事もあり、今後の課題となっている。

圧接箇所の集電性能については、圧接直後にはバリ等の影響により微少なアークの発生がみられたものの、パンタグラフによる摺動を繰返す事で改善された。約半年後の12月に行った摩耗測定においても、接続箇所の摩耗進行はほとんどみられず、2mの新品トリ線を割入れた箇所も含めて、常温圧接を用いた接続箇所において、適正な集電性能を確保できていることが確認できた。

5 おわりに

トリ線の常温圧接装置及び常温圧接専用車を開発し、営業線でのフィールド試験を行った結果、作業は施工性に問題はなく一般的な工事として行えることが確認できた。また、施工後の圧接箇所については、新型プロテクタ金具の取付けも含めて、短径間で接続点を設けても適正な集電性能を確保できる事を確認した。以上の結果から、本開発により在来線においてトリ線の常温圧接を導入する為に必要な諸技術については確立できた。

今後は、トリ線の中間部での接続が行われていない新幹線においても、常温圧接技術によるトリ線接続を可能とするための技術開発を行う計画である。

参考文献

- 1) 長瀬他；硬銅トリ線の突合せ常温圧接、鉄道技術研究所報告、No887、1974.3
- 2) 村上他；トリ線常温圧接装置の開発、J-Rail'96、PP.301-302、1996
- 3) 棟方他；トリ線接続装置の開発、J-Rail'96、PP.177-178、1998