

被覆硬銅電線用水密形付属品

根岸 保文 ・
篠田 武範 **

1. はじめに

被覆硬銅線の架線における断線は、応力腐食われに起因することはすでに知られている。この現象は電線になんらかの引張り応力が作用すると同時に腐食環境が存在する場合に生ずる。すなわち、この二つの条件が重なった場合に起こるものであり、どちらか一つの条件のみでは起こり得ない。またこの腐食環境は被覆電線内部に浸入する雨水によることも明らかになっている。

架空電線路の引留箇所、分岐接続箇所、直線接続箇所等は、従来被覆の一部を除去して、電線引留め、または接続等を行った後、絶縁カバーを取付ける方法が行われる。しかしこれらのカバーは水密の要素はほとんど考慮されていないので、これらの箇所から、雨水が浸入する機会は充分考えられる。

そこで、これら接続箇所における水密性を高めることを重点に、一連の付属金具類の改良を試み、ここに、一応の成果と実用化が得られたので、紹介する。

2. 水密クランプ

2.1 形状および構造

(1) 形状

クランプの形状を図-1 (a), (b) に示す。

(2) 構造

クランプは本体、押え、くさび、くさびケース、防水コンパウンド、締付ボルト、スナップリング、ストッパネジ、コックボルトその他の部品から成り立つ。

本体はコックボルトにより碍子に直接連結することができる。また、緊線用の引手を有する。本体と押えはヒンジ式になっていて、それぞれに溝が設けてある。溝の中には、くさびケースが収められていて、さらにこのケースの中にくさびが収められて

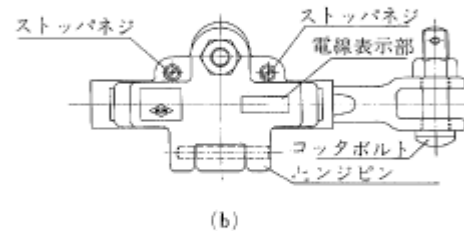
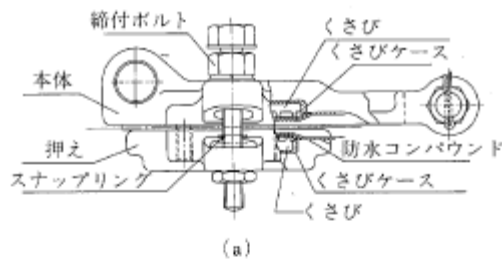


図-1 クランプの形状

・ ねがし やすふみ 第二技術部

** しのだ たけのり 第二技術部

いる。

くさびは鋸歯状になっていて、この上に防水コンパウンドがセットされている。

絶縁電線の被覆をはぎ取らずに、そのままクランプに挿入し、本体と押えで電線をはさんで把握し、かつ、ボルトの締付力により本体、押え内のくさびの歯の部分で電線の被覆を突き破って電線導体を把握する構造になっている。

くさびの歯がつねに電線導体と一定の接触を保つようにストッパが設けられている。また、くさびの歯が突き破った部分の絶縁被覆を防水コンパウンドが包みこむことにより“水密”になる構造である。

締付ボルトは、ブレーカウェイボルトを使用している。ボルトのネジ部には、スナッピングが付いている。ボルト頭の脱落防止の役割をしている。

(3) 電線掌握機構

クランプの構造は前述のとおりであるが、絶縁電線の被覆をはぎ取らずに、クランプすることが従来の工法とは異なると同時に、このクランプの特徴の一つでもある。

この際、問題となるのは、絶縁被覆および防水コンパウンドの硬さにおける温度特性である。一般的に、これらの温度特性は、常温においては低い、低温においては加速度的に高くなっていく。クラン

プはボルトの締付力（軸力）によりくさびの歯が絶縁被覆を破って電線導体に達し、電線を把握する構造なので、温度が異なると一定の軸力を与えても、くさびの歯の電線被覆への入り方は一定にはならない。すなわち、低温時には、電線被覆および防水コンパウンドはボルトの軸力に対して大きな抵抗を示すようになる。

逆の場合は、くさびの歯が電線導体へ深く入り、電線に損傷を与える。電線導体への傷の程度が限度以上になると、振動疲労により電線破断に至る。

したがって、くさびの歯と電線導体との接触の程度は、温度に関係なくある狭い範囲内に確実に抑えることが必要になる。

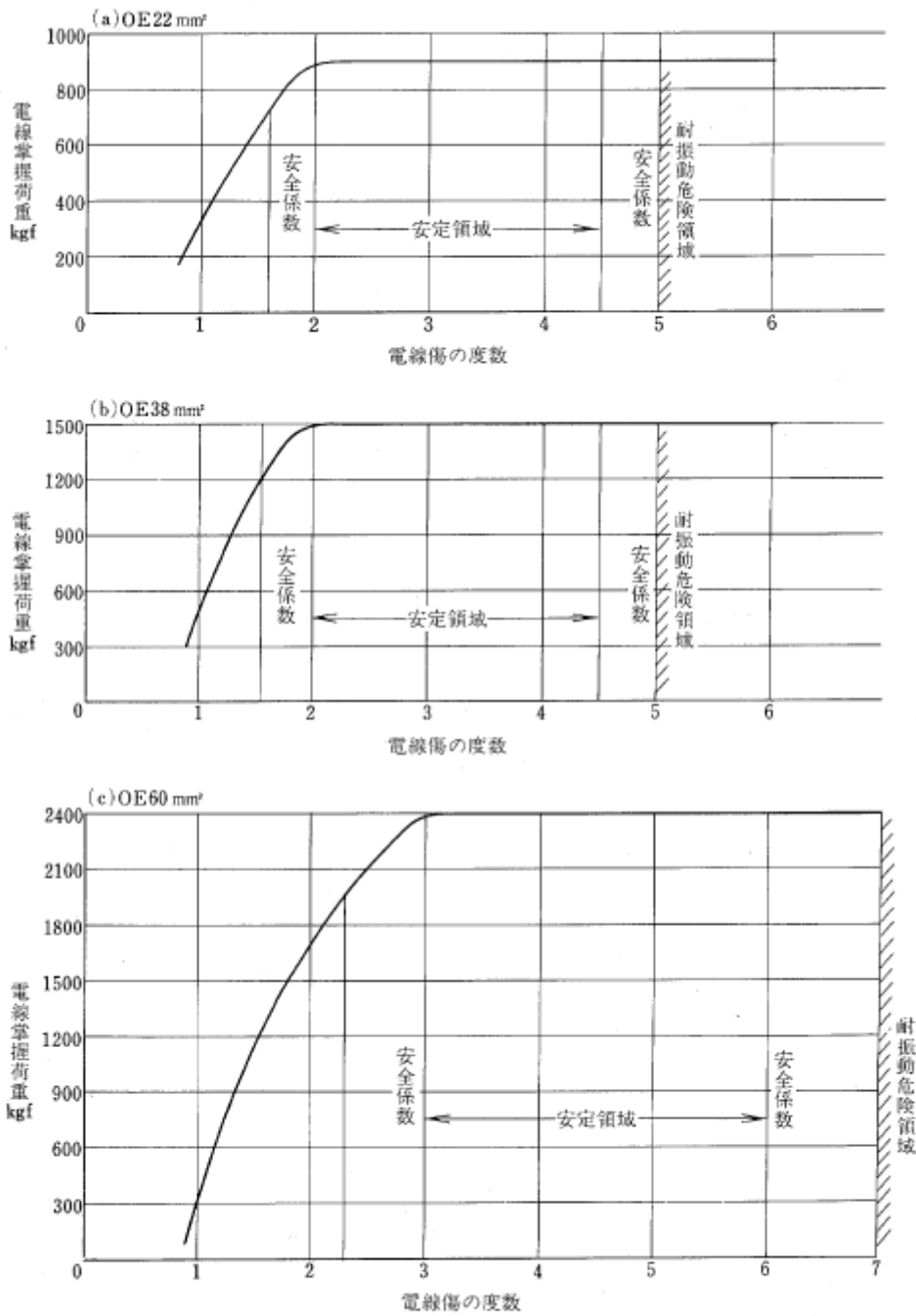
そこでいま、電線傷の度数を設定する。これはくさびの歯と電線導体との接触の程度を示す一つの尺度で、

$$(\text{電線導体への傷の深さ}) \times (\text{傷の個数})$$

と定義される。

この尺度を用いて、クランプの電線掌握荷重との関係を調べた結果を図-2 (a), (b), (c) に示す。

つぎに、温度をパラメータとして、常温から-25℃まで変化させたときのボルト締付トルクと電線傷の度数との関係を調べた結果を図-3 (a), (b), (c) に示す。



図一2 電線掌握荷重と電線傷の度数との関係

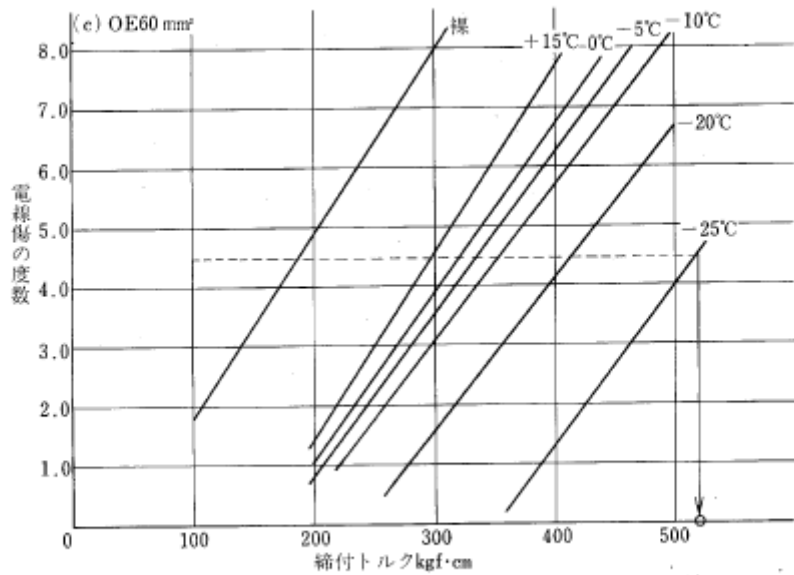
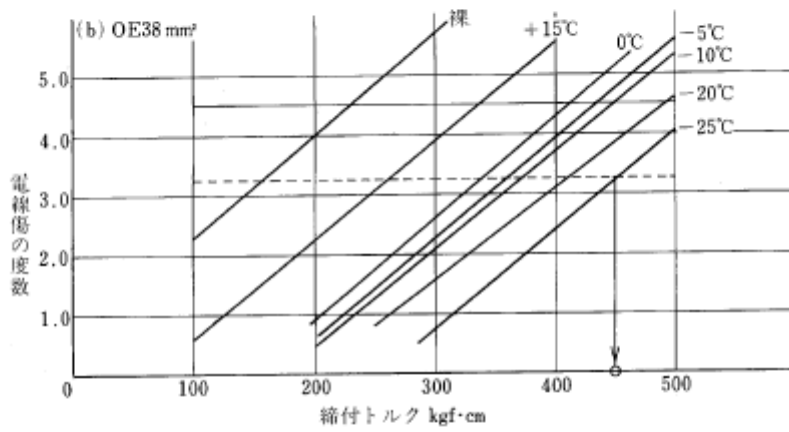
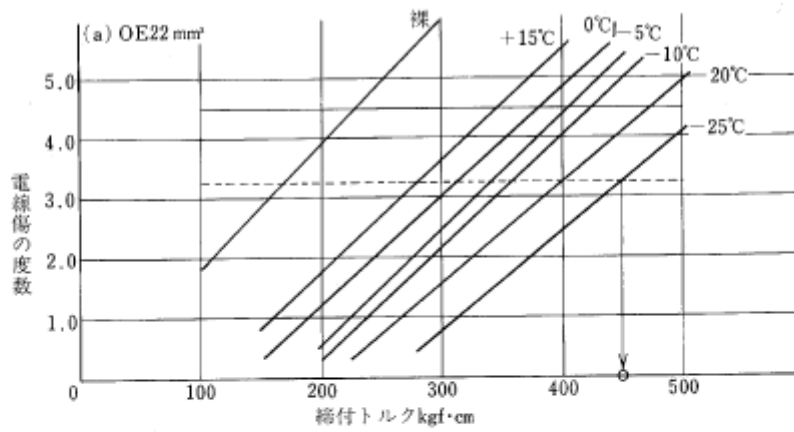


図-3 縮付トルクと電線傷の度数との相関

これらのクランプは全国的に使用され、また冬期の夜間作業もある。したがって温度条件の最低を-25℃と設定する。この温度において電線傷の度数が図-

2の安定領域に入るために必要なボルト締付トルクは図-3より、表-1の如くなる。

表-1 -25℃に於ける必要締付トルク

電線サイズ mm ²	電線傷の度数	締付トルク kgf·cm	ボルトサイズ	ボルトブレーカウェイトトルク kgf·cm
22	3.25	450	M12	500±50
38	3.25	450	M12	500±50
60	4.50	650	M16	700±50

また、高温時には、歯が芯線に深く入りすぎぬために、クランプの本体と押えの間に限界ストッパを設定し、常に適正な電線傷を確保する。また、ブレーカウェイ締付ボルトは、ストッパに突き当たってからしばらくしてブレークアウトするように設定されている。

なお、この方式の実証確認試験結果を表-2に示す。

表-2 電線掌握荷重試験結果

試料 番号	サイズ mm ²	温度 ℃	ボルト サイズ	締付 トルク kgf・cm	電線傷 の度数	電線掌 握荷重 kgf	電線定格引張 荷重に 対する 割合 %	最 終 状 況
1	22	+27	M12	450	2.6	890	100.1	クランプ内にて電線導体が破断
2					3.1	880	99.0	"
3					2.8	920	103.5	"
4					2.6	900	101.2	"
5					3.0	890	100.1	"
6		-25	M12	450	2.9	950	106.9	クランプ内にて電線導体が破断
7					3.0	930	104.6	"
8					3.1	890	100.1	"
9					2.8	900	101.2	"
10					3.2	920	103.5	"
11	38	+27	M12	450	2.8	1520	102.7	クランプ内にて電線導体が破断
12					2.7	1560	105.4	"
13					3.0	1550	104.7	"
14					2.7	1600	108.1	"
15					2.9	1540	104.1	"
16		-25	M12	450	2.8	1580	106.8	クランプ内にて電線導体が破断
17					3.2	1580	106.8	"
18					2.9	1590	107.4	"
19					2.6	1620	109.5	"
20					3.2	1670	112.8	チャック部にて破断
21	60	+27	M16	650	5.2	2590	107.5	クランプ内にて電線導体が破断
22					5.0	2570	106.6	"
23					5.1	2550	105.8	"
24					4.8	2580	107.1	"
25					5.0	2610	108.3	"
26		-25	M16	650	4.6	2630	109.1	クランプ内にて電線導体が破断
27					4.3	2620	108.7	"
28					4.0	2680	111.2	チャック部にて破断
29					4.2	2590	107.5	クランプ内にて電線導体が破断
30					4.0	2650	110.0	"

2.2 性能試験結果

2.2.1 試験項目および方法

クランプの主たる性能および試験方法はつぎのとおりである。

(1) 電線掌握荷重

適用電線をクランプに取付け、締付トルクがブレークアウトするまで締付けたものを試料とする。

つぎに、電線端末を各素線に、平均して荷重が加わるよう適当に処理した後、図-4に示す荷重方法で、毎秒約100kgfの割合で荷重を増加し、クランプから電線のみがすべり出す荷重値または破断する荷重値を求める。

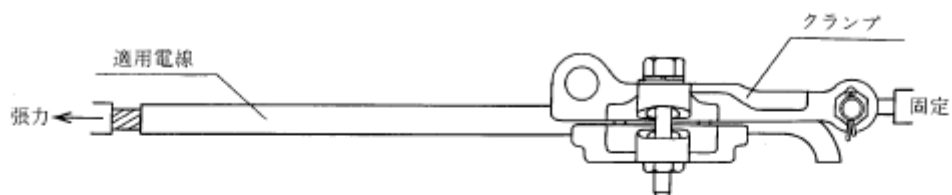


図-4 電線掌握荷重試験方法

(2) 破壊荷重

① 引手破壊

図-5 (a)に示すように、クランプ引手部に12mmの丸棒を通し、毎秒約100kgfの割合で荷重を増加し、引手が破壊する荷重値を求める。

② 本体破壊

クランプに適合する太さのワイヤロープを図-5 (b)に示すように取付け、毎秒約 100kgfの割合で荷重を増加し、クランプが破壊する荷重値を求める。

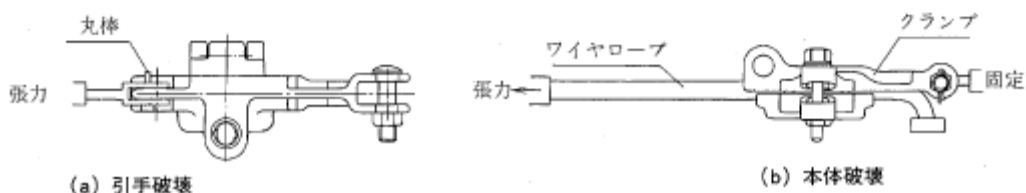


図-5 破壊荷重試験方法

(3) 水密性

①と同様の試料を図-6に示すような装置で1kgf/cm²のガス圧を5分間印加し、ガスリーク発生の有無を調べる。

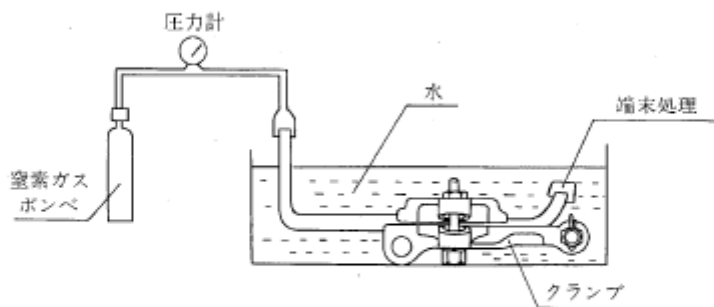


図-6 水密試験方法

(4) 耐振動性

(1)と同様の試料を用いる。クランプを適当な方法で固定したのち、クランプ口元から1ループ以上になるような位置を加振点とし、振動数20Hz、振幅5mmの振動を10⁷回加え、電線およびクランプ各部の異常の有無を調べる。なお、架線張力は表-3のとおりとする。

また、振動試験終了後、電線をクランプから取外して引張り、電線の強度低下を調べる。試験方法を図-7に示す。

表-3 振動試験架線張力

電線サイズ mm ²	架線張力 kgf
22	120
38	200
60	300

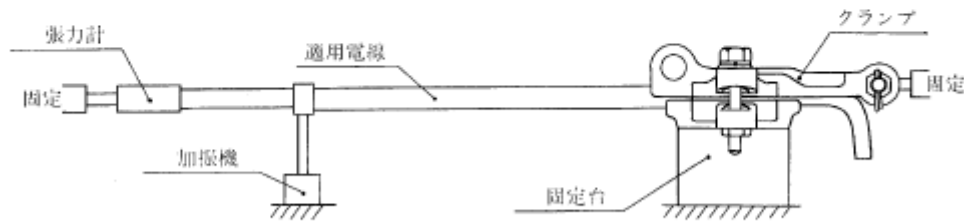


図-7 振動試験方法

2.2.2 試験結果

(1) 電線掌握荷重

試験結果を表-4に示す。

表-4 電線掌握荷重試験結果

電線サイズ mm ²	電線掌握荷重 kgf	電線定格引張荷重に対する割合 %	引張最終状況
22	910~990	102.4~111.4	クランプ内にて電線導体破断
38	1580~1680	106.8~113.5	"
60	2510~2650	104.1~110.0	"

(2) 破壊荷重

試験結果を表-5に示す。

表-5 破壊荷重試験結果

金具サイズ mm ²	引手破壊荷重 kgf	本体破壊荷重 kgf	電線定格引張荷重に対する割合 %	最終状況
22mm ² 用	1320~1500	2270~3050	255.3~343.1	コッタ部にて破断
38mm ² 用	1330~1550	2930~3670	198.0~248.0	"
60mm ² 用	1900~2440	4650~5150	192.9~213.7	"

(3) 水密性

各サイズとも異常なし。

(4) 耐振動性

試験結果を表-6に示す。

表-6 振動試験結果

電線サイズ mm ²	振動試験 結果	電線引張荷重 kgf	電線定格引張荷重に対する 割合 %
22	異常なし	900～990	101.2～111.4
38	〃	1540～1600	104.1～108.1
60	〃	2500～2670	103.7～110.8

3. 水密形分岐コネクタ

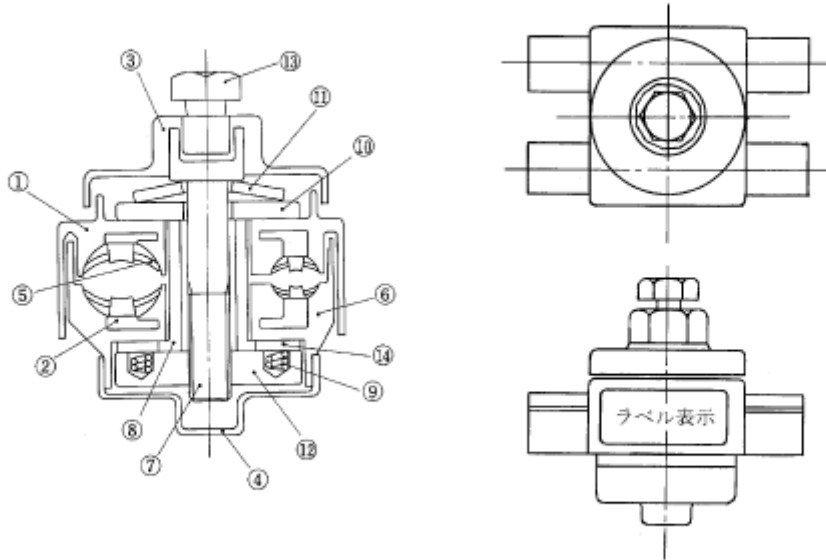
3.1 形状および構造

分岐コネクタは、本体A、B、接続体、締付ボルト、防水コンパウンド、ストップカラー、端末キャップその他の部品から成り立っている。コネクタ本体は耐候性の優れた樹脂（ポリアセタール樹脂）を採用している。電線を挿入する溝（本線側と分岐線側）がそれぞれ設けられており、コネクタ内には電線（本線と分岐線）を接続するすず入り銅導体がそれぞれ埋込まれている。

コネクタのボルトを締付けることにより、導体歯部が電線（本線と分岐線）の被覆を破り電線の導体とコネクタの導体が完全に接続する構造である。また、水密性を保持する防水コンパウンド（ブチルゴムおよびポリエチレン等を主成分とし粘着力が強く、吸水率の少ないもの）はコネクタの導体部歯先の上面にあり、電線を締付けることによりコンパウンドは電線被覆の表面とコネクタ歯部間にコンパウンドが密着することにより水密性が保証される。

また、分岐線（P、D、C等）の端末には端末キャップを挿入することにより水密性が得られる構造となっている。コネクタの締付ボルトはブレーカウェイ方式になっており、コネクタに電線を挿入し上側の頭部を締付けることにより規定の締付力が得られたときに、これらがもぎ取れる構造にて締付力の個人差がないように設計がなされている。またコネクタ内部にはストップカラーが入っており、接続体の歯が電線導体の一定の深さの位置で接触する構造となっており、さらに電気的接続効果を安定させるために、コネクタ内に四角座金と四角ナット間に2個のコイルバネを使用している。また、銅部品および導体部は、すべて防錆処理が施してある。形状および材質は図-8に示す。

図-8 分岐コネクタの形状および材質



No.	部品名	材質	No.	部品名	材質
1	本体 A	ポリアセタール樹脂	9	四角座金	一般構造用圧延鋼材
2	本体 B	"	10	平座金	"
3	ボルトカバー	"	11	サラバネ座金	炭素鋼材
4	ナットカバー	"	12	コイルバネ	ばね用ステンレス鋼材
5	接続体	銅合金	13	ブレーカウェイ部	アルミニウム合金
6	ストップカラ	ノリル樹脂	14	コネクタシール	ブチル系ゴム
7	締付ボルト	機械構造用炭素鋼材	15	端キャップ	E P T ゴム
8	四角ナット	一般構造用圧延鋼材			

3.2 性能試験項目

水密形分岐コネクタの試験方法および判定基準は、電力用規格 C-612（架空アルミ配電線用締付コネクタ）および C-613（架空アルミ配電線用圧縮スリーブおよび締付コネクタのヒートサイクル試験方法）に準じて行った。ただし、水密性試験を追加した。

試験項目は下記の通り

項 目	特 性
外観形状寸法検査	目視および適当な度器を用い、規定する事項について調べる。
接 続 試 験	コネクタに定ずる適用電線は表-7の適用電線区分とし、標準締付トルクを表-8に示す。
締 付 試 験	表-7の組合せで、電線を取付けた状態で、表-9に示すトルクで締付けても、コネクタ本体等に異常が生じないこと。
電 気 抵 抗 試 験	電線接続部分の電気抵抗は接続した電線の電気抵抗と同等以下であること。
引 張 試 験	弱い方の接続電線引張荷重の5%、または50 kgfのうち、いずれか大きい方、ただし本線の引張荷重を当初規格値の95%以下に低下させぬこと。
ヒートサイクル試験	コントロール電線の温度上昇が100℃になるような電流を1時間通電、1時間停止、これを500回繰返す。コネクタの抵抗はヒートサイクルの25回目から最終回までの間で安定状態でその平均値から5%以内のバラツキの範囲にあること。コネクタの導体温度はコントロール線の温度より高くなく、かつ、ヒートサイクルの25回目と最終回の間でコントロール線とコネクタの導体との温度差は平均値から-10℃以内であること。
塩 水 噴 霧 試 験	(1)コントロールサンプル3個の平均値曲線に対し、塩霧試料各々の抵抗は常に105%以下であること。 $\frac{r_{sn}}{R_{cn}} / \frac{r_{si}}{R_{ci}} \leq 1.05$ 。ただし、 R_{ci} ：コントロールサンプル3個の初期の抵抗平均値。 R_{cn} ：コントロールサンプル3個のn回目の抵抗平均値。 r_{si} ：各サンプルの初期の抵抗値。 r_{sn} ：各サンプルのn回目の抵抗値。 (2)塩霧試料は外観その他を観察し腐食の著しいものがないこと。
水 密 性 試 験	表-7の組合せで、本線の片端部を密封し、反対側の電線端より空気圧力1 kgf/cm ² を5分間加えこれに耐えられること。
大 電 流 試 験	接続電線の短絡許容電値(表-10)を1秒間通電、1分停止し、これを3回くり返した後の引張荷重は当初規格の95%以上、電気抵抗の増加は当初規格の5%以内とする。

表-7 適用電線区分

分岐線側 (mm ²)	本 線 側 (mm ²)			
	22	38	60	100
PDC-8	SB4T2 OE4T2	SB5T2 OE5T2	SB6T2 OE6T2	SB8T2 OE8T2
PDC-14	SB4T3 OE4T3	SB5T3 OE5T3	SB6T3 OE6T3	SB8T3 OE8T3
OE(SBOE)22	SB4T4 OE4T4	SB5T4 OE5T4	SB6T4 OE6T4	SB8T4 OE8T4

表-8 標準締付トルク

ボルト・ナット (呼び径)	標準締付トルク (kgf・cm)
M10	200
M12	500

表-9 破壊締付トルク

ボルト・ナット (呼び径)	標準締付トルク (kgf・cm)
M10	300
M12	600

表-10 試験電流値

(mm ²)	試験電流
PDC-8	1200A
PDC-14	2100A
OE(SBOE)22	3300A

3.3 試験結果

代表的な電線サイズ本線別OE38mm²、分岐線PDC、8mm²を使用した試験結果を下記に示す。

①接続試験

コネクタに電線を挿入し締付トルク 200kgf・cm で締付けた結果、すべて異常なし。

②締付試験

接続試験と同様の電線組合せで締付トルク 300kgf・cm で締付けた結果、コネクタ本体の変形およびボルト、ナットのネジ不良等異常なし。

③電気抵抗試験

電気抵抗測定結果は表-11に示すとおり、すべて良好である。

④引張試験

引張試験の結果は表-12および表-13に示すとおり、すべて良好である。引張試験方法は図-9および図-10にて行った。

⑤ヒートサイクル試験

ヒートサイクル試験の結果を表-14および図-11に示す。規格に対してすべて良好である。

⑥塩水噴霧試験

塩水噴霧試験結果を表-15および図-12に示すとおり、すべて合格である。

⑦水密性試験

水密性試験結果を表-16に示すとおり、すべて良好である(図-13参照)

⑧大電流試験

大電流試験結果を表-17に示すとおり、規格に対しすべて合格である。(図-14参照)

表-11 電気抵抗測定結果

試料番号 No	締付トルク kgf・cm	測定長さ (mm)	電気抵抗	
			測定値(μΩ)	等長電線比(%)
1	200	650	874.2	93.9
2	200	650	878.5	94.4
3	200	650	875.4	94.1

表-12 引張試験結果

試料番号 No	締付トルク kgf・cm	引張節さ		備考
		引張荷重(kgf)	電線引張荷重比(%)	
1	200	169.5	93.1	PDC8mm ² スベリ
2	200	162.0	89.0	"
3	200	160.0	87.9	"

注 PDC 8 mm²引張荷重(実測値)182kgf

表-13 引張試験結果

(本線周コネクタとの接触キズによる引張強度)

試験番号 No.	締付トルク kgf·cm	引張強度	
		引張荷重(kgf)	電線引張荷重比(%)
1	200	1587	99.8
2	200	1585	99.7
3	200	1588	99.9

注 OE38 mm²引張荷重 (実測値) 1590kgf

表-14 ヒートサイクル試験結果

試験番号 No.	初期値 $\mu\Omega$ 20°C	抵抗比										平均値 $\mu\Omega$ 20°C	合格 範囲 deg以上	合格 合 否										
		サ イ ク ル 数					サ イ ク ル 数																	
		0	25	50	75	100	125	165	205	250	330				410	500								
1	931.3	1.025	1.000	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	908.2	合	500	67.2	合						
2	937.3	1.020	1.000	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	918.9	合	500	67.6	合						
3	903.3	1.014	1.000	1.000	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	897.1	合	500	68.0	合						
4	968.5	1.044	1.001	1.001	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	927.4	合	500	66.1	合						
コンローラ線温度上昇値(deg)												102.1	100.1	97.6	99.7	98.3	99.3	97.0	98.9	97.7	97.1	100.0		
室温(°C)												26.5	28.3	32.5	26.0	26.5	25.3	24.6	24.4	17.7	22.4	19.4		

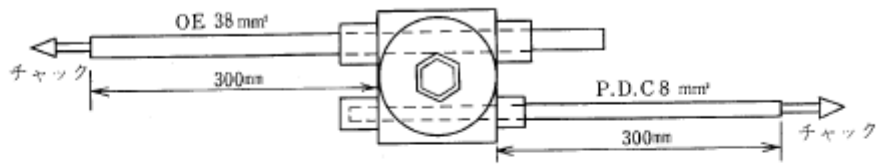


図-9 本線と分岐線の引張

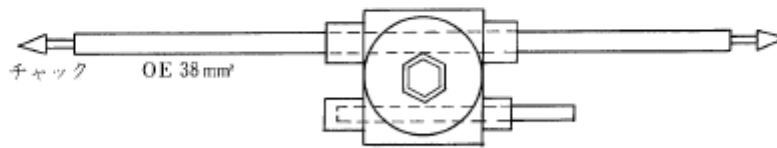


図-10 本線引張

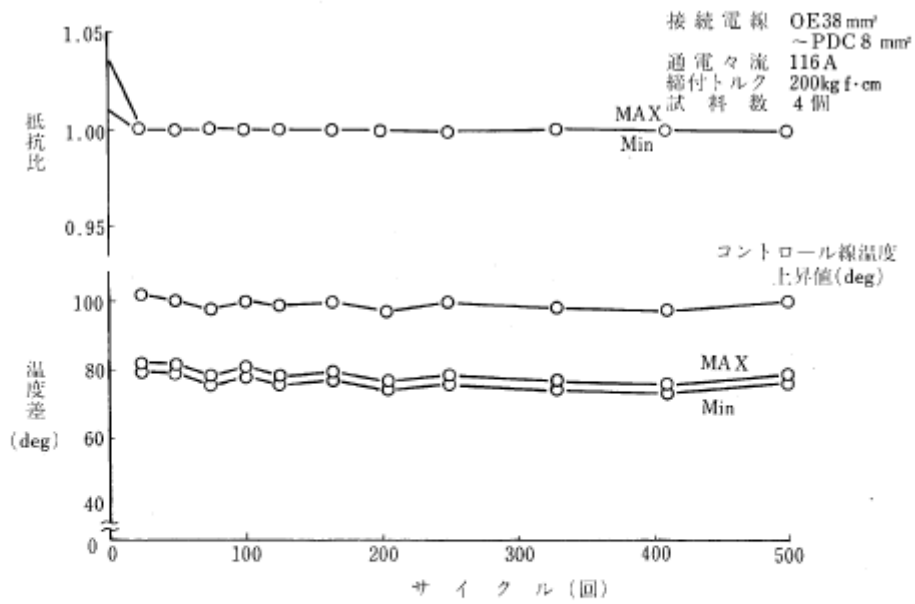
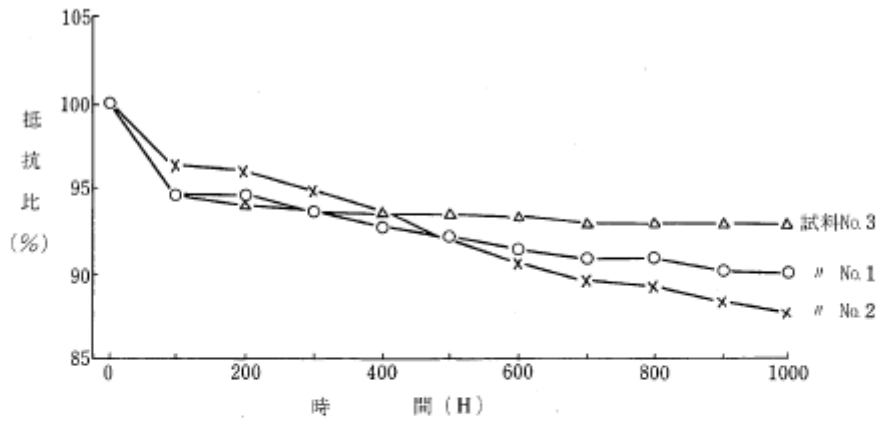


図-11 ヒートサイクル試験結果



圖—12 塩水噴霧試験結果

表—15 塩水噴霧試験結果

試料番号 No	初期抵抗値 $\mu\Omega$ (20℃)	抵 抗 比 (%)											合否
		時 間 (H)											
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
1	475.0	100.0	94.4	93.9	93.6	92.7	92.0	91.3	90.8	90.9	90.1	90.0	合
2	451.3	100.0	96.2	95.9	94.8	93.6	91.8	90.6	89.6	89.2	88.3	87.6	〃
3	475.0	100.0	94.6	94.5	94.4	94.3	94.4	94.3	93.9	93.9	93.9	93.8	〃

表-16 水密性試験結果

試料番号 No.	空気圧 1kgf/cm ² 5 分間	破壊気圧 (kgf/cm ²)
1	異常なし	3.5 > 1 kg/cm ²
2	"	3.0 > "
3	"	3.5 > "
4	"	3.5 > "

表-17 大電流試験結果

試料番号 No.	電気抵抗 ($\mu\Omega$ 20°C)			測定長 (mm)	試験後 試験前 × %
	試験前	試験後	同接電線		
1	922.0	917.1	961.7	684	99.47
2	915.1	909.6	"	"	99.40
3	922.7	917.6	"	"	99.45

注 試験電流値は1,200Aである

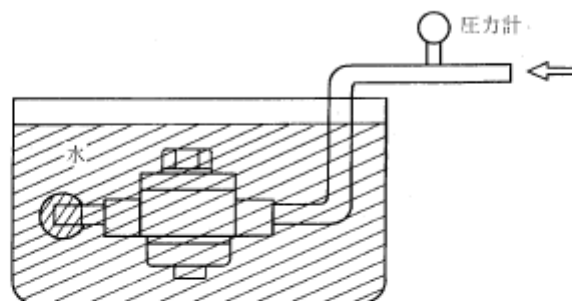


図-13 水密性試験方法

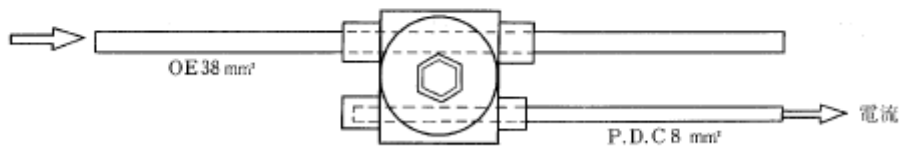


図-14 大電流試験方法

4. 水密形圧縮スリーブ

4.1 圧縮形直線スリーブ

圧縮形直線スリーブの構造、構成を図-15に示す。直線スリーブは、スリーブ本体と防水ゴムとで構成されており、両端口元部に防水ゴムが挿入されている。電線挿入部は電線導体のみを圧縮する部分と、絶縁電線そのものを圧縮する部分に分かれている。したがって、電線導体のみを圧縮する部分に挿入される絶縁電線は、被覆を除去する必要がある。(被覆のはぎ取り長さは使用する工具により指定される)スリーブは油圧工具により圧縮するが、スリーブ本体の口元付近は防水ゴムと絶縁電線が同時に圧縮されることにより水密構造となる。

4.2 圧縮ジャンパススリーブ

圧縮ジャンパススリーブの構造、構成を図-16に示す。

ジャンパススリーブは、スリーブ本体と防水ゴムからなっており、接続される電線が左右共線の場合は、直線スリーブと同様にスリーブ両端口元部に防水ゴムが挿入されている。また本線と裸線等を接続する場合と、本線と裸線等を接続する場合は、片側のみ(OE線側)に防水ゴムを使用する構造で(図-17参照)、ジャンパススリーブ中央部により左右の通気性がなく完全に隔てられている構造である。なお、圧縮スリーブには電線被覆のはぎ取り長さを表示したシールがスリーブ表面に貼られている。

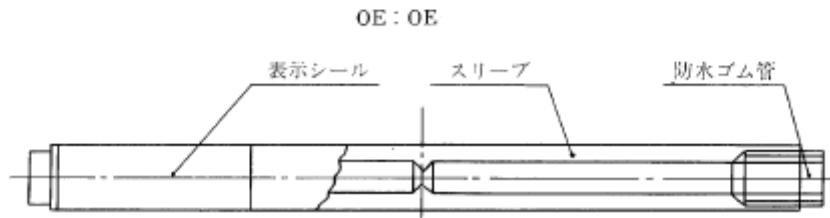


図-15 水密形直線スリーブ

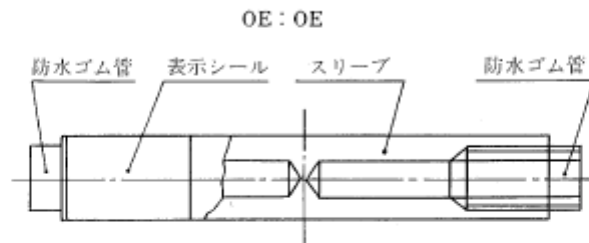


図-16 水密形ジャンパススリーブ

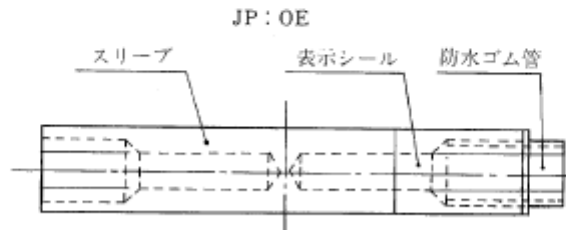


図-17

4.3 性能について

圧縮スリーブの性能は、従来の圧縮型直線スリーブ・ジャンプスリーブの規格(抵抗試験、引張試験)と同等である。ただし、水密性についてのみ仕様を追加されている。水密性の試験方法は図-18に示すように電線の片端部をテープ等で密封し(直線スリーブのみ)、スリーブ等を水中に入れ、反対側の電線端部より1kgf/cm²の空気圧を加えながら5分間保持し、異常がないことが要求されている。

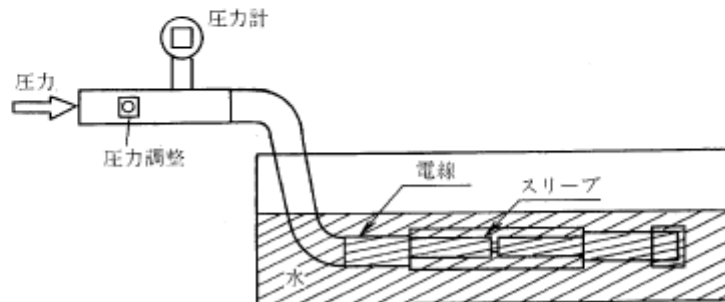


図-18 水密性試験方法

5. あとがき

架空配電線における銅導体の応力腐食断線事故防止に関する配電線接続金物は、未開発の状態に近いものであったが、幸いにも日本国有鉄道殿より貴重な研究テーマをいただき、鋭意検討の結果、絶縁電線用水密金具として引留クランプ、分岐コネクタ、圧縮スリーブ等が開発されました。

日本国有鉄道殿および電力会社殿の御指導による成果として、ここに深くお礼申し上げる次第です。