

# 低温連続加硫法による高電圧防蝕ケーブル

## The Application of Low Temperature Continuous Vulcanization for High Voltage Corrosion Resistant Power Cables

山本三郎\* 伊勢明\*\* 福田太市\*\*

### 内 容 梗 概

日立製作所においては合成ゴムの応用および連続加硫法の基礎的研究が数年来行われてきた。この基礎研究に基づいてわれわれは本邦最初の 20 kV 60mm<sup>2</sup> 3心の完全水密性ネオプレン防蝕鋼帯鎧装 SL ケーブルおよび 11kV 1,000mm<sup>2</sup> 分割導体ネオプレン防蝕ケーブルを完成した。その要点はつぎの通りである。

(1) 一般のネオプレン防蝕層は高温度で長時間加硫される。その結果完成した高電圧ケーブルの電氣的性能を低下させる。この欠点を除くために低温においても完全に加硫する特殊なネオプレン混和物の配合を確立した。このものは防蝕材料として種々良好な性質を有している。

(2) ネオプレン防蝕高電圧ケーブルを作るためには、極力含浸油の膨脹、収縮、防蝕層の偏肉を防止しなければならない、このためわれわれは日立独特の連続加硫方式によつてこれらのネオプレン防蝕ケーブルを完成した。

### 〔I〕 緒 言

鉛被ケーブルの障害事故のうち鉛被の腐蝕によるものは我国においては事故総数の約 20%<sup>(1)</sup>、また海外では約 40%を占めている<sup>(2)</sup>と報告されている通り非常な高率を占めている。この点より鉛被の腐蝕を防ぎケーブルの耐用年数を延す対策を講じることは、使用者および製造者側において重要な問題である。

最近、この対策として急速に進歩した合成樹脂および合成ゴムを使用した防蝕ケーブルが進出しているが、本論文においては合成ゴムを防蝕層とした高電圧ケーブルについて述べる。

すなわち合成ゴムを用いた防蝕ケーブルの中で通信ケーブルあるいは低電圧電力ケーブルに関しては比較的容易に製作できるが、高電圧ケーブルについては製造過程に行われる加硫に際して、ケーブルの絶縁特性の低下をもたらすことから、その防止のために製作上に種々の問題がある。

日立製作所においては上述のような要請に対応して、合成ゴムの応用および連続加硫法の基礎研究を続けており、これらを基にして加硫によるケーブル絶縁性能の低下防止を一挙に解決し、本邦最初の 20kV 3×60mm<sup>2</sup> ネオプレン防蝕鋼帯鎧装 SL ケーブルと 11kV 1,000mm<sup>2</sup> 分割導体ネオプレン防蝕ケーブルとを製作した。

本論文はこれら高電圧防蝕ケーブルの製作に際しての諸考察および各ケーブルの性能について述べる。

### 〔II〕 連続加硫とネオプレン防蝕ケーブル

#### (1) 連続加硫機

ゴム絶縁電線の連続加硫機には大別して蒸気を熱源と

する方法と、誘導加熱の原理を利用した高周波式加硫法との二つの方法がある。

蒸気を熱源とする方式はおもに欧米において発達し<sup>(3)</sup><sup>(4)</sup><sup>(5)</sup>、我国においても該方式の連続加硫機が輸入されている<sup>(6)</sup><sup>(7)</sup>。また高周波式連続加硫機は戦後我国に急速に取上げられた加硫法であつて<sup>(8)</sup><sup>(9)</sup>、一般にゴム防蝕層の加硫に採用されている。

一方日立製作所においては高周波式<sup>(10)</sup> および蒸気式の連続加硫法<sup>(11)</sup><sup>(12)</sup> について基礎研究を行い、加硫時に生ずるゴムの発泡を容易に防止できるという観点から後者の蒸気と電熱とを熱源とする加硫機を製作した。

この加硫機は蒸気漏洩防止装置、加硫筒、冷却槽、引取および巻取機よりなり、この概略を示すと第1図(次頁参照)のようである。すなわち加硫筒には蒸気が充満しており、未加硫ケーブルはこの筒内を通過して加硫される、なお加硫筒の両端にとりつけられてある蒸気漏洩防止装置は金属ワッシャーとゴムパッキンおよび加圧水よりなり、この減圧機構は漏洩する蒸気の流速の変化を利用したものである<sup>(11)</sup>。したがつて未加硫ケーブルの仕上外径および構成によつてワッシャーとゴムパッキンの孔径が決定される。

なおこの蒸気漏洩防止装置の原理は最近我国で輸入した米国製の連続加硫機のものと同じである。

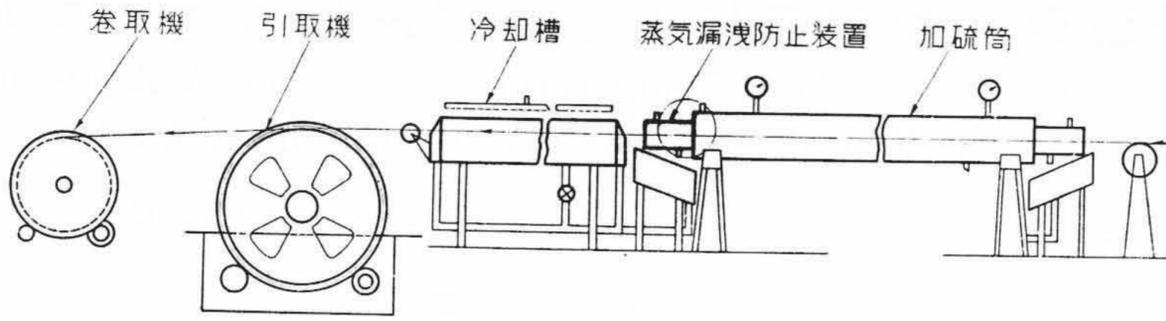
#### (2) ネオプレン防蝕ケーブル

今回製作した 11kV 1,000mm<sup>2</sup> 分割導体ネオプレン防蝕ケーブルおよび 20kV 3×60mm<sup>2</sup> ネオプレン防蝕鋼帯鎧装 SL ケーブル(以下これを単に分割導体ケーブルおよび SL ケーブルと略称する)などは特に腐蝕被害のはなはだしい地下に埋設されるもので、これらの構造を図示すると第2図のようになる。

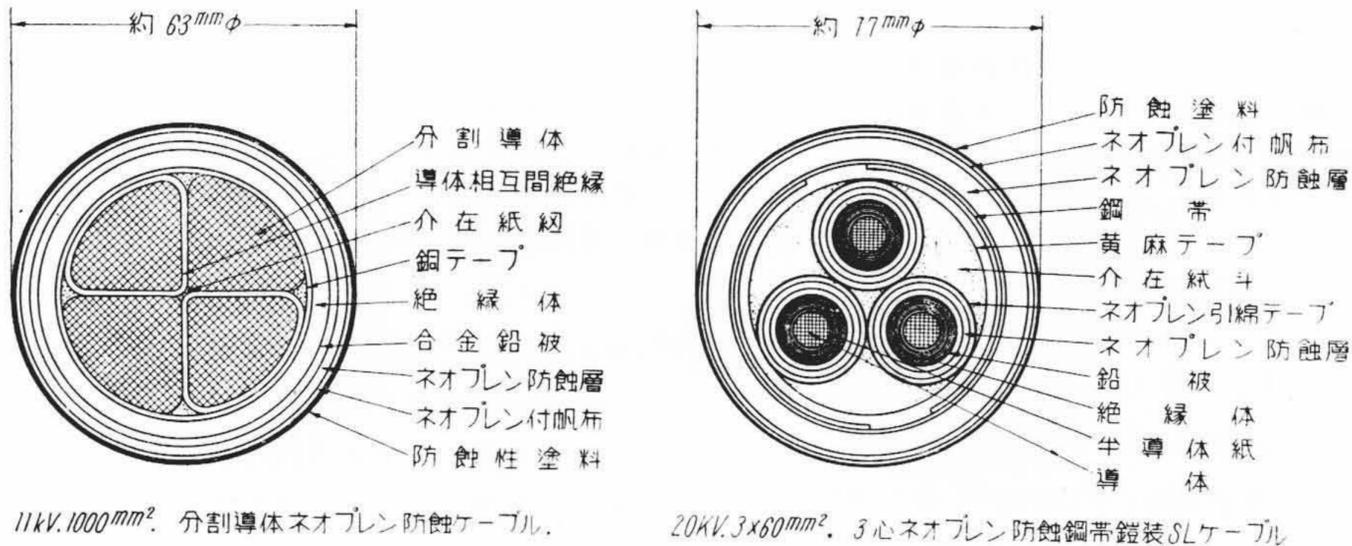
なおこの両ケーブルを製作上より比べると、分割導体

\* 日立製作所日立電線工場 理博

\*\* 日立製作所日立電線工場



第1図 連続加硫機の概要  
 Fig. 1. Sketch of the Continuous Vulcanization Machine



11kV. 1000mm<sup>2</sup>. 分割導体ネオプレン防蝕ケーブル.

20kV. 3x60mm<sup>2</sup>. 3心ネオプレン防蝕鋼帯鍍装SLケーブル

第2図 ネオプレン防蝕ケーブルの構造  
 Fig. 2. Constructions of Neoprene Covered Corrosion Resistant Power Cables

ケーブルは鉛被上にネオプレン防蝕層を施し、加硫工程を経て製作されるため作業工程は比較的簡単である。

しかしSLケーブルにおいてはまず線心上のネオプレン(以後これをコアと略称する)を加硫しこれを介在物とともに撚合させる。つぎにその外周上に防蝕剤処理黄麻テープ、鋼帯、ネオプレンテープおよびネオプレン付帆布を巻き付け、鋼帯上のネオプレン(以後シースと略称する)を加硫し塗料が塗布される。したがってケーブル絶縁体は2度熱処理を受けるため、加硫時における油の偏在とこれに伴う空隙の発生および防蝕層の変形が倍加され、分割導体ケーブルよりさらに高度の製作技術が必要である。

### 〔III〕 低温加硫用ネオプレン混和物

#### (1) ネオプレン混和物の配合

高電圧防蝕ケーブルに使用されるネオプレン混和物は、ケーブル本体におよぼす熱的影響を少くし電気的性能を保持するために、つとめて低温短時間で加硫が完了することが望ましい。

一般にネオプレン混和物は130°C以上の高温で長時間にわたって加硫することが必要である。この場合における配合上の文献は数多く見受られるが<sup>(13)(14)</sup>低温加硫の文献はほとんど見あたらない。

低温加硫の困難性は加工の安全性がきわめて小さいこと、あるいは加硫が短時間に進行するためにゴム層の層

離れ、ボイドの発生などが起きやすい点にある。さらにこのような混和物を用いた場合、防蝕層の電気的性質や耐老化性も重要な問題となってくる。

しかし筆者らがこの配合について種々検討した結果、加硫剤、加硫促進剤、充填剤、その他配合剤の特殊な使用法と熟練した作業技術によつて一般用ネオプレンと同様に加工ができ、しかも防蝕層として具備しなければならない数多くの性能を保持する混和物を確立することができた、この配合の1例を第1表に示す。

#### (2) 加硫特性

一般用ネオプレン混和物においては低温加硫は長時間を要し、しかもその性能は高温加硫のものに比較して著しく劣る。これに対して第1表の配合混和物においては、低温でも加硫が進行し、しかも以下述べるごとく性能も良好である。

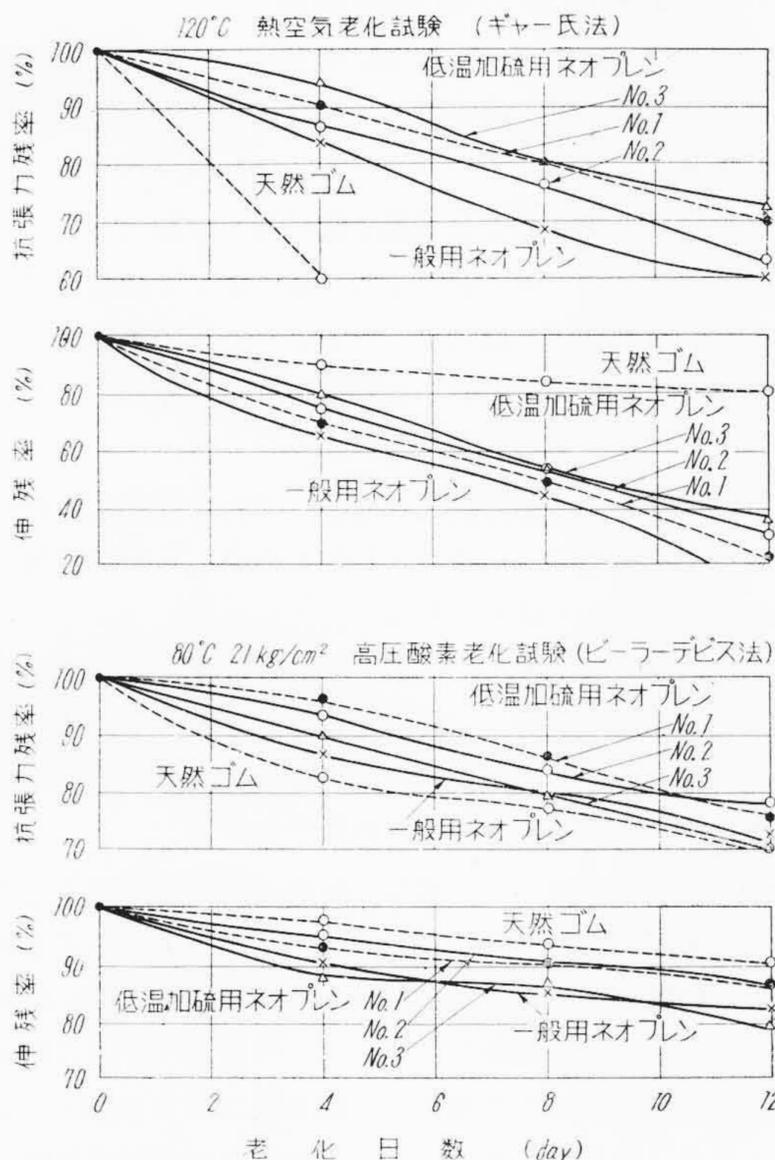
#### (3) 耐老化性

低温加硫用ネオプレン混和物の耐老化性は120°Cギヤー氏法熱空気老化および80°C 21kg/cm<sup>2</sup>ピーラーデビス氏法酸素老化試験などより検討した。この結果は第3図の通りである。

一般用ネオプレン混和物の耐老化性については既報したが<sup>(15)(16)</sup>、第3図からあきらかなように一般用のものと大差なく、しかも天然ゴムの老化と比較すれば著しい耐老化性を持っていることがわかる。なお伸びの低下がはなはだしいことはネオプレンの特性で、最近C.A.

第1表 低温加硫用ネオプレン混和物の配合  
Table 1. Recipe of Neoprene Compounds for Low Temperature Vulcanization

配 合 剤	配 合 比
ネ オ プ レ ン	100
加 硫 剤	5 ~ 20
加 硫 促 進 剤	0.5 ~ 1.5
軟 化 剤	2
充 填 剤	60



第3図 低温加硫用ネオプレン混和物の各種老化試験結果  
Fig. 3. Ageing Tests of Neoprene Compounds for Low Temperature Vulcanization

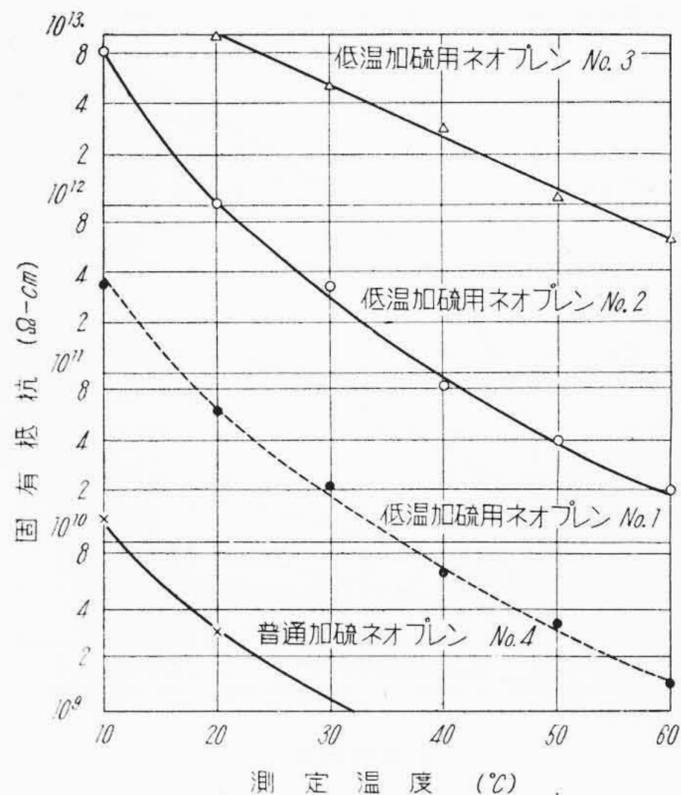
Larson 氏<sup>(17)</sup> はネオプレン被覆電線を8年間屋外曝露した結果を報告しているが、これによると伸びの低下率は最初の2年間で40%、8年間で60%に達するが、まだ可撓性がありさらに長期間の使用に耐えることを示している。また G. N. Vacca 氏<sup>(18)</sup> も促進老化試験と屋外曝露試験から約20年の寿命を推定している。

この耐老化性の問題はきわめて重要であり、筆者らも現在さらに研究を続けている。

(4) 電気的特性

ネオプレン混和物の固有抵抗は天然ゴム、GR-S、GR-Iなどに比べて低いことは周知の事実である。

防蝕ケーブルにおいてはこの絶縁性を保持するため従



第4図 低温加硫用ネオプレン混和物の固有抵抗の温度特性  
Fig. 4. Changes of Volume Resistivity of Neoprene Compounds due to Temperature

来は天然ゴムを使用していたのであるが、今回のようにネオプレン単独使用の場合にはネオプレン混和物の固有抵抗を向上させる必要がある。

これに関して F. L. Yerzley 氏<sup>(19)</sup> はネオプレンの精製と充填剤の選択を強調している。

いま筆者らが確立した二、三の低温加硫用ネオプレンの固有抵抗温度特性を示すと第4図のようになる。

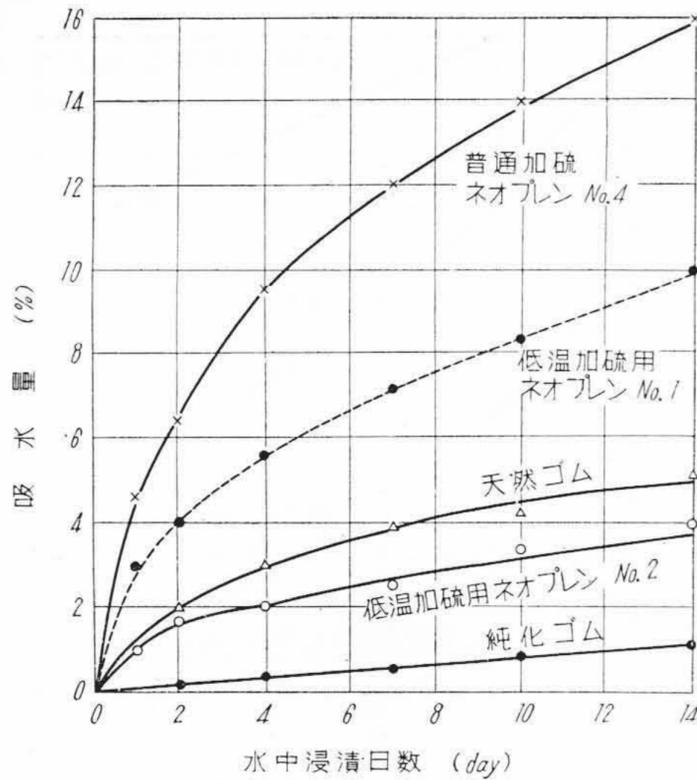
ネオプレン混和物の電気的特性は第4図のように配合剤によって大きく左右されるが、実際上防蝕層の規格が5 MΩ/m (20°C) であるので十分な余裕が認められる。

(5) 吸水性

防蝕層の具備しなければならない必要条件是上記の他に種々あるが<sup>(20)</sup>、このうちで防蝕層の吸水性はその使用状態からみて極力少いことが望ましい。

試料の大きさを一定にして、低温加硫用ネオプレン、普通加硫ネオプレン、絶縁用天然ゴムおよび特に低吸水性といわれている純化ゴム (G-Crepe) について70°C恒温水中に浸漬し比較試験を行った。この結果は第5図(次頁参照)の通りで、この結果からはネオプレンが天然ゴムに比べてまさっているとはいえず、むしろ配合剤によって大きく特長がでることを示している。

このことは文献にも示されており、極端に吸水するものは長時間の浸漬によって物理的性能が低下する<sup>(21)</sup>。この吸水性については最近 Du pont 社において W,あるいは WRT型を用いて耐水性ネオプレンの配合を紹介しているが<sup>(22)</sup>、電線用ネオプレンとして興味ある問題である。



第5図 各ゴム混和物の吸水性  
Fig.5. Water Absorption Characteristics of Various Rubber and Neoprene Vulcanizates

[IV] 連続加硫法による高電圧ケーブルの性能

(1) ネオプレン防蝕層の諸特性

分割導体ケーブルおよびSLケーブルのシースおよびコアのネオプレン防蝕層について、(a) 抗張力、伸びおよび老化、(b) 絶縁抵抗、(c) 絶縁耐力などの各種試験を行った結果は第2表の通りである。

抗張力試験の結果において分割導体ケーブルとSLケーブルとに、その絶対値に差があるのはネオプレン混和物の相違によるもので(前者はネオプレン混和物 No. 2, 後者はNo.3を用いた)抗張力がこの程度を示すことは前述のように加硫がほぼ完了しているものと考えられる。

つぎに加熱空気および酸素老化試験による防蝕層の変化率は僅少であり、従来の天然ゴムに比べいぢるしく

耐老化性に富み、長期にわたり安定した防蝕効果が期待できる。

さらに電氣的性能においてもネオプレン防蝕層としてはきわめてすぐれた性能を示している。なお連続加硫法を用いることによつてこれらケーブルのように外径および重量が非常に大きい場合でも第6図に示すように防蝕層の偏肉はほとんど認められず、均一な防蝕層を形成している。

(2) ケーブルの電氣的性能

分割導体ケーブルおよびSLケーブルの全条を加硫前後において電氣的試験を行い、加硫によるケーブルへの影響を測定した。

この結果は第3表および第7図の通りである。

分割導体ケーブルにおいては加硫によつて誘電正接が一様にわずかながら増加しているが、これは第7図の温度特性から想定されるように測定温度の相違による影響が現われているものと思う。

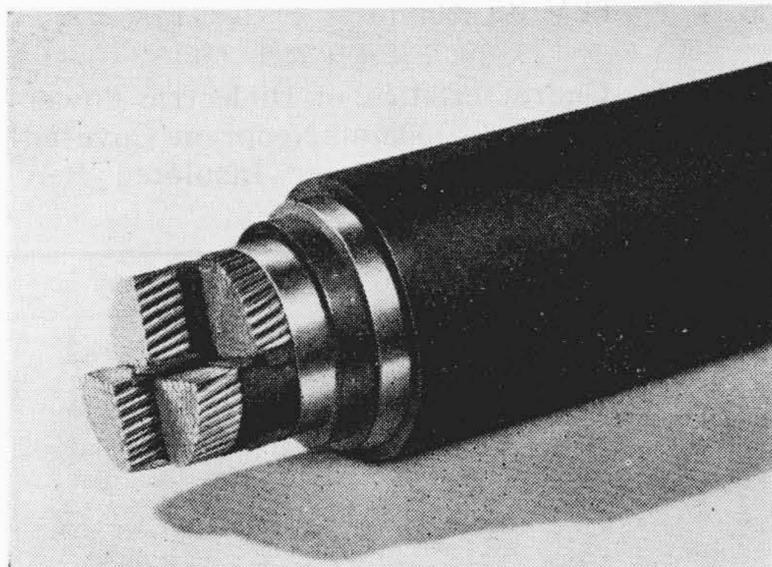
静電容量および絶縁抵抗は増減いずれの傾向とも判定しにくく、長時間の絶縁耐力試験においても加硫前後でその差はほとんど認められない。

SLケーブルは前述したように線心鉛被上、鋼帯鍍装上の2箇所にネオプレン防蝕層を施したもので、2度の加硫にもかかわらず加硫によるケーブル性能の低下はきわめて少く、すぐれた特性を保持している。

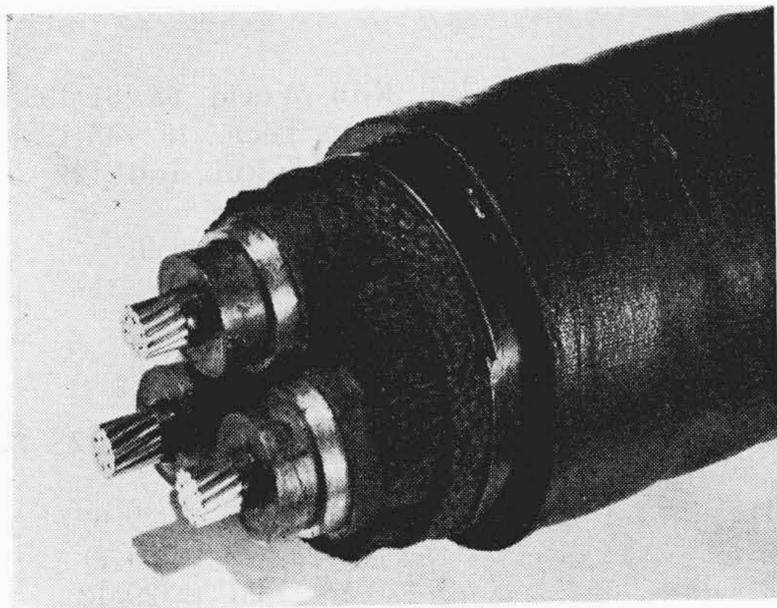
さらにこの加硫による電氣的性能の変化を確認するために20kV 3×100mm<sup>2</sup> SLケーブル線心鉛被上にネオプレン防蝕層を施し、試作用小型連続加硫機で約27m製作し、両端より切断し、ケーブルの長さの方向に対する誘電正接の分布を実測すると第8図(136頁参照)のようになる。すなわちケーブルの中央部においては加硫による影響はきわめて少いことがわかる。

第2表 ネオプレン防蝕層の物理的および電氣的性能  
Table 2. Physical and Electrical Characteristics of Neoprene Covered Corrosion Resistant Layers

試験別	ケーブル別	11 kV 1,000 mm <sup>2</sup> 分割導体ケーブル		20 kV 3×60 mm <sup>2</sup> SL ケーブル		
		規格	測定値	規格	測定値	
					コア	シース
抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	0.8 以上	1.16	0.8 以上	1.87	1.94
		250 以上	736	250 以上	1,000	1,042
熱空気老化 (100°C 2日)	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	0.5 以上	1.22	低下率 35% 以内	1.98	1.91
		200 以上	615	低下率 35% 以内	958	975
酸素老化 (70°C 21 kg/cm <sup>2</sup> 4日)	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	—	—	低下率 35% 以内	1.70	1.76
		—	—	低下率 35% 以内	925	917
絶縁抵抗 (MΩ/m 20°C)	絶縁耐力 (V/min)	5.0 以上	300	5.0 以上	710	1,420
		3,000	良	1,500	良	良

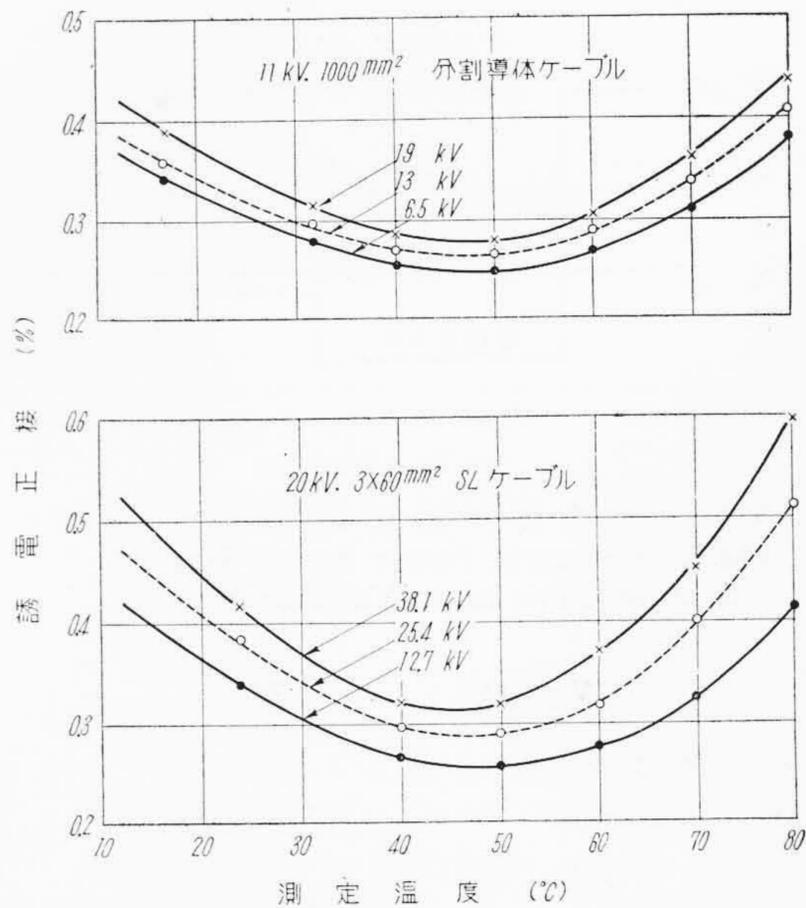


11kV 1,000mm<sup>2</sup> 分割導体ネオプレン防蝕ケーブル



20kV 3x60mm<sup>2</sup> ネオプレン防蝕鋼帯鋳装 SL ケーブル

第6図 ネオプレン防蝕ケーブルの外観  
Fig.6. Appearances of Neoprene Covered Corrosion Resistant Cables



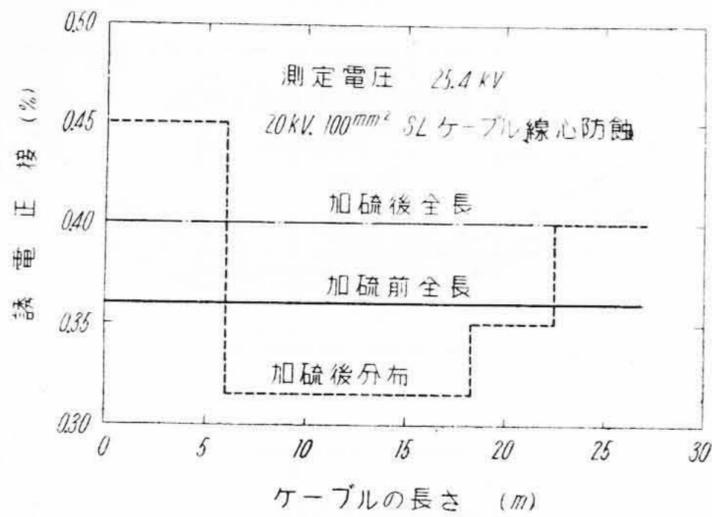
第7図 ネオプレン防蝕ケーブルの温度、電圧と誘電正接との関係

Fig.7. Relation between Testing Temperature, Voltage and Dielectric Power Factor

以上のように連続的に加硫した場合は性能の低下がきわめて僅かであり、仮に性能の低下があつた場合でも端末部の影響が相当に大きく、全長にわたる低下でないことが想定される。この一例としてその後製作した関西電力納 6kV 3x150mm<sup>2</sup> ネオプレン防蝕層付ベルト紙ケーブルの誘電率接電圧特性を示すと第4表のようになり、加硫による電氣的性能の低下は皆無である。

第3表 ネオプレン防蝕ケーブルの加硫前後における電氣的諸性質  
Table 3. Electrical Characteristics of Neoprene Covered Corrosion Resistant Cables Before and After Vulcanization

試験別	ケーブル別	11kV 1,000mm <sup>2</sup> 分割導体ケーブル		20kV 3x60mm <sup>2</sup> SL ケーブル	
		規格	測定値	規格	測定値
静電容量 (μF/km 20°C)	加硫前	—	1.21~1.24	—	0.28
	加硫後	1.3 以下	1.19~1.25	—	0.27
絶縁抵抗 (MΩ/km 20°C)	加硫前	—	2,300~2,500	—	7,200
	加硫後	—	2,200~2,600	700 以上	6,200
長時間絶縁耐力 (kV/h min)	加硫前	—	30/6 ・ 良 10kV・6h 毎に上昇 60/3.00 破	—	60/6 ・ 良 15kV・6h 毎に上昇 90/5 ・ 20 破
	加硫後	30/6 ・ 以上	30/6 ・ 良 10kV・6h 毎に上昇 60/3 ・ 02 破	60/6 ・ 以上	60/6 ・ 良 15kV・6h 毎に上昇 105/0 ・ 04 破
誘電正接 (%)	加硫前	—	6.5kV—0.36 13kV—0.36 (測定温度 15°C)	—	12.7kV—0.46 25.4kV—0.50 (測定温度 15°C)
	加硫後	6.5kV } 0.9 以下 13kV }	6.5kV—0.38 13kV—0.38 (測定温度 10°C)	12.7kV } 0.9 以下 25.4kV }	12.7kV—0.61 25.4kV—0.74 (測定温度 7°C)



第8図 加硫後の誘電正接分布  
Fig.8. Dielectric Power Factor Distributions of Cable after Vulcanization

〔V〕 結 言

以上の報告を要約するとつぎのようになる。

- (1) 低温加硫用のネオプレン混和物の配合を確立した。この混和物は低温において十分加硫が進行し、なお防蝕層として必要な諸性能を有している。したがって長期間にわたり安定した防蝕効果が期待できる。
- (2) 低湿加硫用のネオプレン混和物ならびに連続加硫方式の採用によつて、加硫による高電圧ケーブルの電氣的性能の低下が防止できる。
- (3) なおこの連続加硫機は日立製作所独得の技術によるものであり、この方式によれば今回のように外径、重量がきわめて大きい場合でも防蝕層の変形は認められず、ゴム防蝕高電圧ケーブルの加硫に適することが実証された。

終りに臨み本研究は日立電線工場、久本、水上両課長始め、吉川、工藤両主任の直接の御指導によるもので、こゝに深く感謝の意を表するとともに、終始御鞭撻を賜つた日立製作所馬場重役ならびに日立電線工場齋藤工場長、内藤、山野井両部長および実験に協力された伊藤、壁谷、高橋久の三君、その他関係者に御礼申し上げる次第である。

第4表 6kV 3×150mm<sup>2</sup> ネオプレン防蝕ベルト紙ケーブルの誘電正接電圧特性 (%)

Table 4. Characteristics of Dielectric Power Factor of 6kV 3×150mm<sup>2</sup> Neoprene Covered Corrosion Resistant Paper Insulated Belt Type Power Cable

類別	測定電圧 (kV)		
	6.6	10.0	13.2
加硫前	0.55	0.59	0.66
加硫後	0.49	0.51	0.53

参考文献

- (1) 電蝕防止研究委員会編：電蝕防止ハンドブック，3 (昭27.4 電気学会)
- (2) 国鉄送電系統保護方式調査委員会編：国鉄 20kV ケーブル系統保護方式調査研究報告 22 (昭29.3 鉄道電化協会)
- (3) S. E. Billhart: Ind. Rub. World 86 51 (1932)
- (4) A. R. Kemp: Rub. Chem. Tech. 10 743 (1937)
- (5) E. Tunncliff: Trans. Inst. Rub. Ind. 29 55 (1953)
- (6) 咲田，横田：オーム 41 938 (昭29.9)
- (7) 横瀬，小岩，望月：住友電気彙報 45 31 (昭28.2)
- (8) 鳴海：電気学会雑誌 71 391 (昭26.6)
- (9) 杉，郡：住友電気彙報 38 1 (昭25.5)
- (10) 笈川：特許，昭26-2482：電気学会雑誌 72 87 (昭27)
- (11) 山本，伊勢：日立評論 36 1007 (昭29.6) ゴム協会誌 28 79 (昭30.2)
- (12) 山本，伊勢：日立評論 36 1831 (昭29.12)
- (13) Du pont: Report No. 50-7 (1950.11)
- (14) Du pont: Report OER-46-2 (1946.9)
- (15) 吉川，福田，渡辺：日立評論 35 95 (昭28.4)
- (16) 福田，吉川：日立評論 (原稿提出中)
- (17) G. A. Larson: Wire & Wire Prod. 29 860 (1950)
- (18) G. N. Vacca, R. H. Erickson, C. V. Lundberg: Ind. Eng. Chem., 43 443 (1951)
- (19) F. L. Yerzley: Ind. Eng. Chem., 35 330 (1943)
- (20) 工藤，鈴木：日立評論 34 1063 (昭27.9)
- (21) Du pont: Note Book 2 No. 11. 41 (1939.1)
- (22) Du pont: BL-265. 8-31-54 (1954)

大量生産による  
均等な品質!

日立トランス

日立製作所

最寄の日立商品特約店又は販売店に御用命下さい。