

高圧ケーブル用混和物の低温度に於ける 適性粘度の判定法

下山田 富保* 遅塚 信男**

Determination of Suitable Viscosity of High Voltage Cable Compound at Low Temperature

By Tomiyasu Shimoyamada and Nobuo Osozuka
Hitachi Electric Wire Works, Hitachi, Ltd.

The practical requirements for viscosity of high voltage cable compound, which is a mixture of insulating oil and rosin, are as follows.

1. The viscosity must be sufficiently low at the impregnating temperature to permit thorough impregnation of paper.
2. On the other hand, the higher viscosity is desirable at the service temperature in order to prevent the easy drainage when the cable is laid on a slope or cut for jointing.

But the high viscosity within the service temperature must have a limiting value according to the set point and lubrication characteristics of the compound, because the high set point accompanies the risk of the formation of voids in the dielectrics, and the lubrication characteristics necessitate the paper layers to slide over each other without being torn when the cable is bent.

In this paper, the study on the low temperature characteristics of high voltage cable compound is given and the friction coefficient of the impregnated paper at the low temperature is discussed.

As the result of our experiments, the writers have found the next items.

1. If the friction coefficient of the impregnated paper is more than 1.5 and the cable is bent with the radius 20 times as large as its diameter, most of the impregnated paper will be torn.
2. The desirable friction coefficient of the impregnated paper is less than 1.5 at -10°C .

〔I〕 緒 言

最近国鉄、各電力会社は高電圧ケーブル（例えば SL 型紙ケーブル等）に対し米国に於ける性能とほぼ同様の性能を要望されるに鑑み、製造業者に於ては電力用ケーブル油及びロジン等の規格に改訂を加えると共に製造技術上の研究改善に努力を傾けている次第である。

日立製作所に於ける最近の SL 型紙ケーブルの性能は本誌⁽¹⁾に詳細報告された通りであるが、今回同混和物の

低温度に於ける適性粘度の一判定法と、この判定法で不適当と認められる粘度の混和物がケーブルの屈曲試験及び誘電体力率の温度特性に及ぼす影響について検討した実験の経過を述べて見たいと考える。

〔II〕 混和物の低温度に於ける粘度特性

混和物の油とロジンの配合率と電気特性との関係は多くの研究^{(2)~(7)}が行われている。然し電気特性と関係深い物理的性質、特に低温度に於ける粘度特性はケーブルの使用温度範囲に於て容易に移動しない高粘度が必要で

* ** 日立製作所日立電線工場

あるとされているのみで、実際具体的に粘度範囲を示した文献は見当らない。

混和物は前記のように使用温度範囲に於て容易に移動しない高粘度であると共に、ケーブルの布設時 -10°C の低温度に於て屈曲を受けて油浸紙が破れないような混和物でなければならない。即ち絶縁層の混和物は屈曲に際し潤滑剤の役割をかける低温度に於ても果し得る粘度特性をもつたものでなければならない。このような特性を欠いた混和物を含浸させたケーブルの屈曲後の誘電体力率は増加する傾向が認められる。(詳細〔IV〕の(5)参照) 混和物の粘度特性は油、ロジンの各特性とこれ等の配合割合によつて変動するが、何等かの方法で低温度に於ける適性粘度を押えることが必要である。

本報ではその一方法として混和物の潤滑剤としての性能を失う潤滑性破壊点を摩擦係数によつて求めた結果について述べる。即ち潤滑性破壊点を予め油—ロジンの配合率及び粘度既知の混和物を含浸させた油浸紙について摩擦係数を測定して表わすことにすれば同混和物の粘度は間接的に求まり、適性粘度範囲を知ることができる。又ケーブルの屈曲試験に対する安全度も予知できる特長がある。

〔III〕 試料の調製及びその特性

(1) 試料の調製

供試ケーブルの油には第1表に示すように、パラフィン系油(W.O)とナフテン系油(Y.O)の2種を選び、これ等ケーブル油に 70°C に於ける粘度が2~5ポイズとなるよう米国製FF精製ロジンを配合して混和物の試料とした。

(2) 混和物の特性

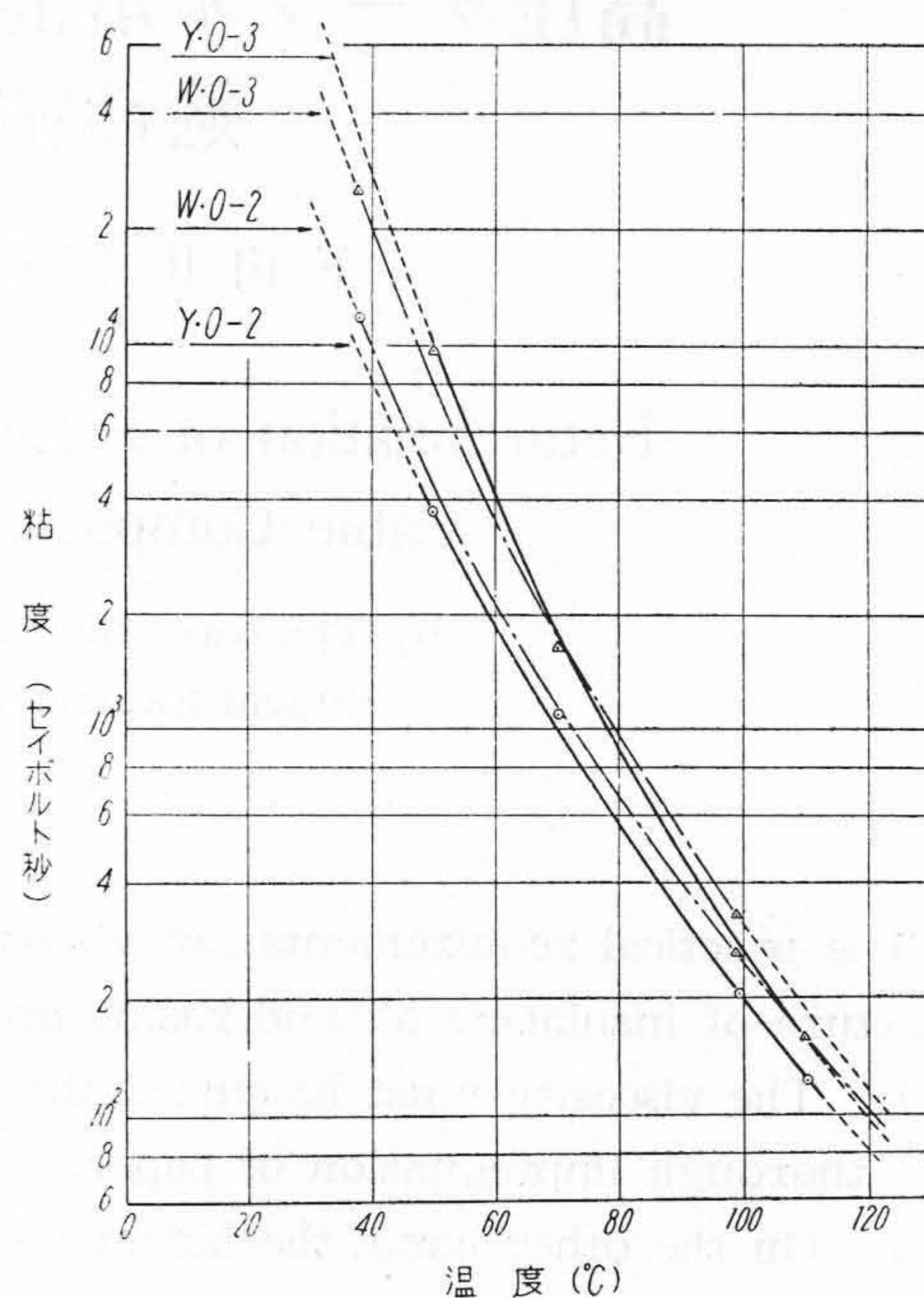
a. 粘度温度特性

前記混和物中から粘度(70°C)が2ポイズと3ポイズ

第 1 表 ケーブル油の物理的特性

Table 1. Physical Characteristics of Cable Oils

特 性	ケーブル油	
	W. O	Y. O
比 重 ($60^{\circ}\text{F}/60^{\circ}\text{F}$)	0.911	0.935
粘 度 (S. S. U)		
	100°F	3.970
	210°F	190
粘 度 指 数	91	25
凝 固 点 ($^{\circ}\text{C}$)	-4.5	-11
粘 度 比 重 恒 数	0.86	0.895
ア = リ ン 点 ($^{\circ}\text{C}$)	113	93



第 1 図 混和物の粘度—温度特性
Fig. 1. Viscosity-Temperature Characteristics of Compounds

の混和物の粘度温度特性をセイボルト粘度計で測定した結果を第1図に示す。

第1図から明らかなように混和物 Y.O-3 と W.O-3 及び Y.O-2 と W.O-2 とは 70°C に於ける粘度が殆ど等しく又温度特性もほぼ同様であるが、Y.O 系混和物の方が何れもロジンが多く配合されている。

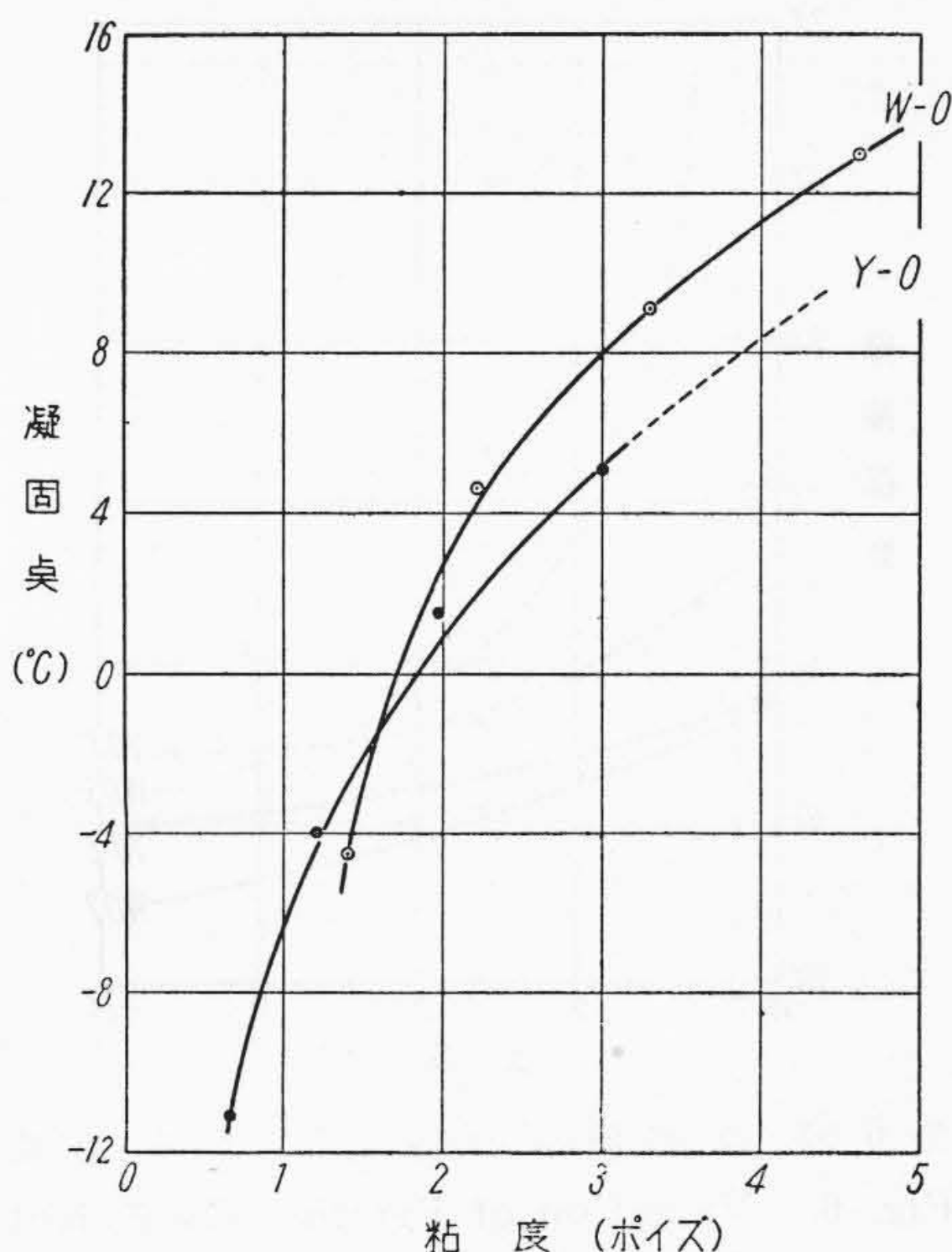
b. 混和物の粘度と凝固点

次にこれ等混和物の粘度と臨時日本標準規格第201号(電気絶縁油細則三)によつて測定した凝固点との関係を示すと第2図のようになる。

混和物の凝固点は何れも粘度が高いもの程即ちロジン配合量の多い程当然高くなるが、然しケーブル油 W.O と Y.O の凝固点は第1表に示したように異なるため同一粘度の混和物であつても凝固点にかなり差が見られる。例えば粘度3ポイズの Y.O 系混和物は 5°C であるが、W.O 系混和物は 3°C も高く 8°C である。

C. 混和物の粘度(又はロジン配合率)と電気的特性及び酸化安定度

高圧シエリングブリッジ(AC 1,000 V/mm, 50 ω)で誘電体力率を、又直偏法(D.C. 500 V/mm)で体積固有抵抗を測定してその結果を W.O 系混和物のみについて第3図に示した。図に見るように力率は1.7ポイズ(配合率10%)附近で山を、又固有抵抗は谷をつくる。その状態は藤沢氏⁽⁶⁾等の得た結果と同傾向であるが、Y.O



第2図 粘度と凝固点との関係
Fig. 2. Variation of Set Point with Viscosity of Compounds

系混和物についても同様の結果が得られた。

次に酸化安定度を 300cc のビーカーに混和物を 250cc とり（表面積 / 容積 = 0.18）120°C の恒温器中に行つたところロジン配合量の多いもの程（従つて粘度の高いもの程）安定度が高かつた。

〔IV〕 混和物の摩擦係数

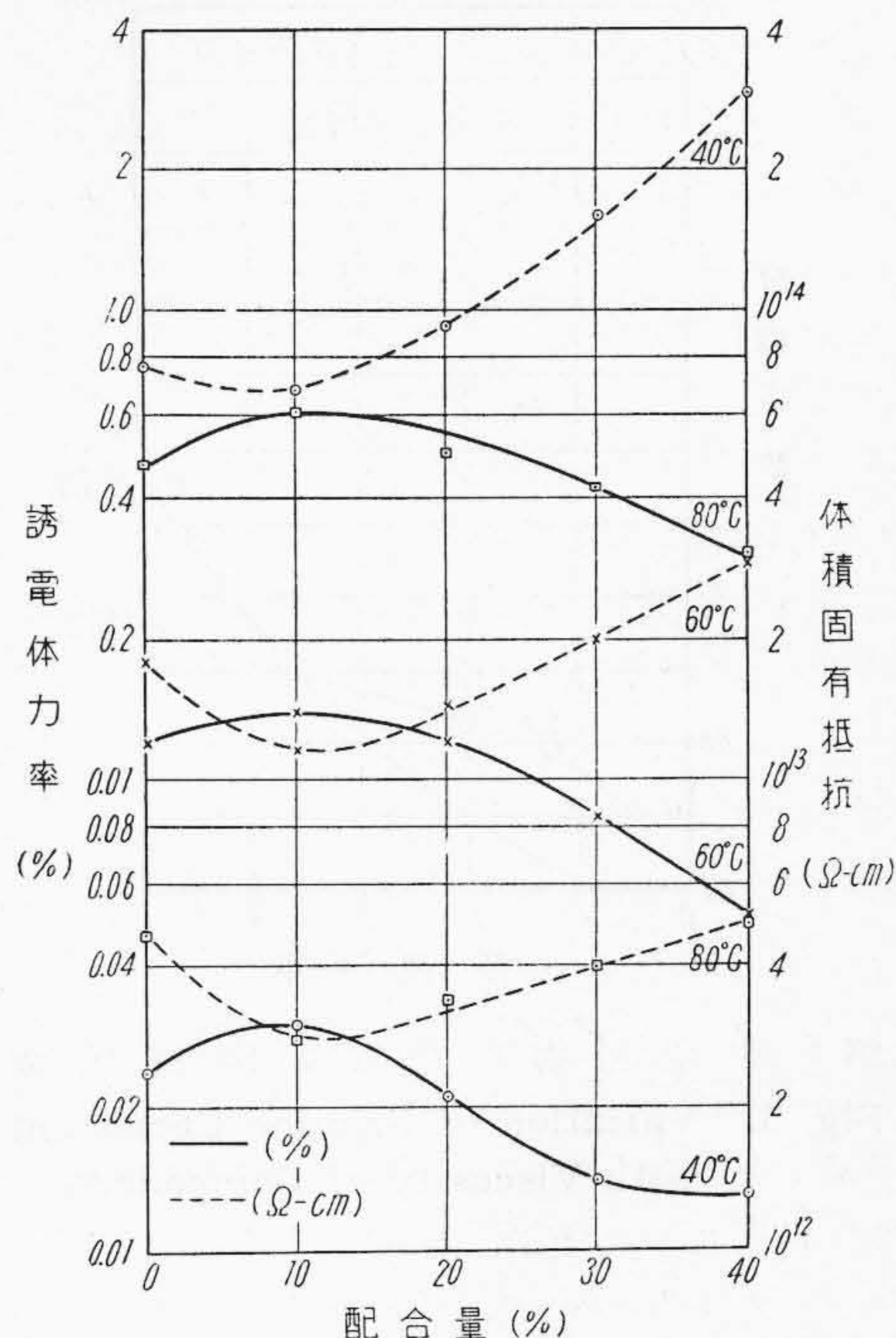
（1）摩擦係数の測定法

測定法は第4図に示すように、ガラス板及び鉄片に各混和物を含浸させた油浸紙を貼りつけ、予め 80°C の恒温器中に 45° の角度に立てかけ 1.5hrs 放置して表面状態が一樣な湿潤状態に保たれるようにした。全体の装置は恒温器中に納め各温度の摩擦係数を砂受器に海砂が流下されて鉄片が動き始める重量（摩擦力）から求めた。

（2）混和物の粘度と摩擦係数

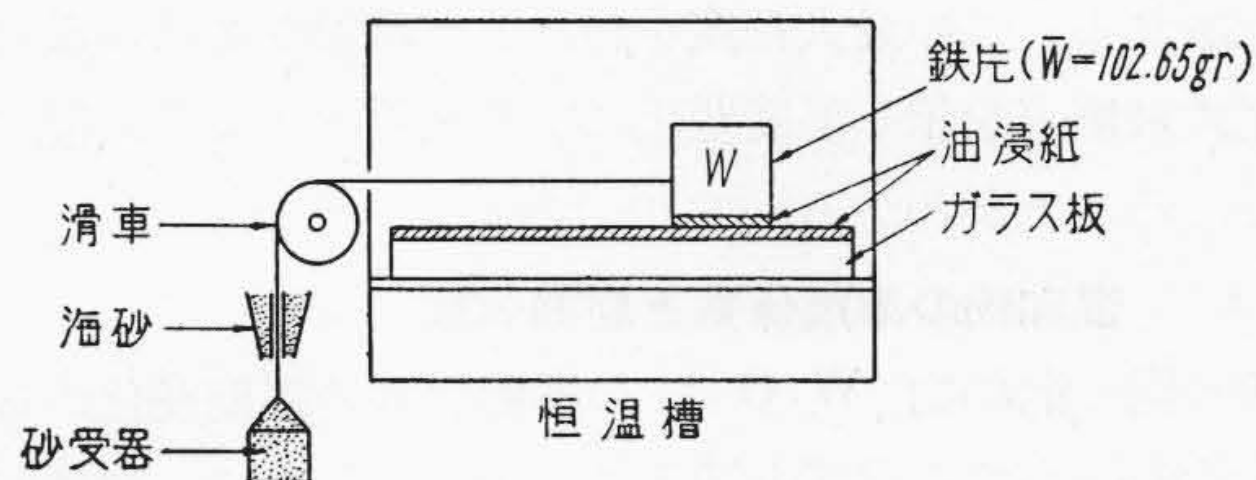
初めに絶縁紙同志（K#3125）について測定した 20°C に於ける摩擦係数は 0.6 で、この値は 100°C までほぼ一定であつた。

次に混和物の粘度と 20°C に於ける摩擦係数との関係を第5図に示す。摩擦係数は混和物の粘度が高い程、即ちロジンの配合率が多くなるにつれて大となる。これはロジンの粘着性の影響に基づくためであるが、W.O 系混和物の場合は常温に於て 4 ポイズ以上となるように、ロジンを配合した混和物は、既に摩擦係数が 1.4 で潤滑性が失われるような状態にあると考えられる。然し Y.



第3図 ロジン配合量と誘電体力率及び体積固有抵抗との関係

Fig. 3. Variation of Power Factor and Volume Resistivity with Rosin Content



第4図 摩擦係数測定装置

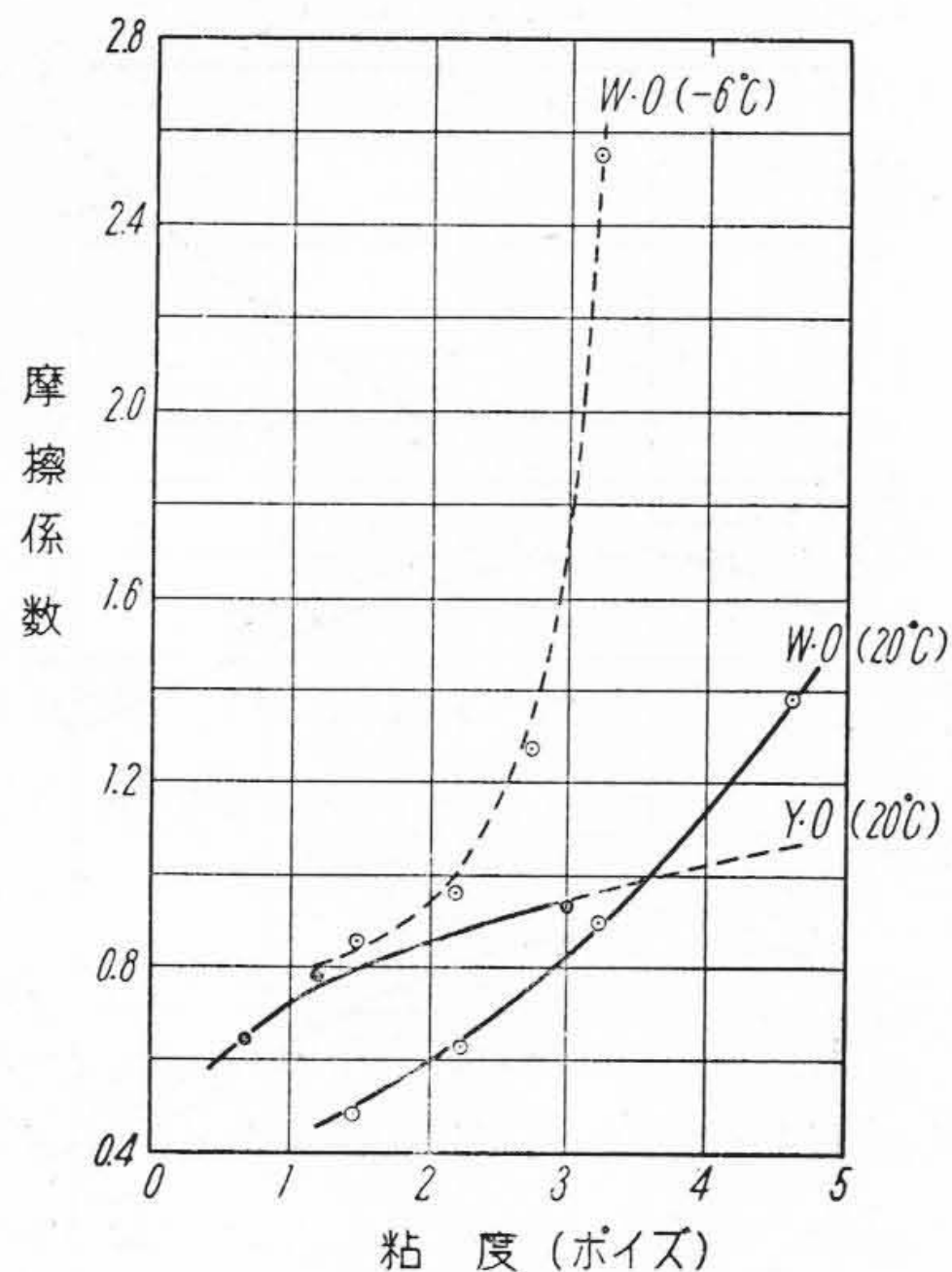
Fig. 4. Apparatus for the Measurement of Friction Coefficient

O系混和物は前者にくらべ遙かに粘度による摩擦係数の変化は少ない。

（3）摩擦係数の温度による変化

混和物の摩擦係数が温度の変化に対しどう変わるかを、粘度が 3.2 ポイズ（W.O-3 及び Y.O-3）と 2.2 ポイズ（W.O-2 及び Y.O-2）の場合について行つた結果を第6図に示す。

W.O 系混和物は W.O-2 の場合、図より明らかなように温度が常温より -10°C まで低下しても摩擦係数は大きい変化を示さないが、W.O-3 は 9°C の凝固点を過ぎる頃から急増して -6°C に於て摩擦係数は約 2.6 と



第 5 図 混和物の粘度と摩擦係数
Fig. 5. Variation of Friction Coefficient with Viscosity of Compounds

なる。

Y.O 系混和物は両者 (Y.O-2. 及び 3) とともに凝固点が 1.5 及び 5°C 以下となつても大きい変化を示さない。

以上の結果からケーブル油にはそれぞれロジンの配合量に固有の許容最大配合量のあることを示していると考えられる。従つて混和物の粘度も同様に油に配合されるロジンの量が制限されるから許容最大粘度のあることが予想される。この最大粘度を越えると摩擦係数は明確な潤滑性破壊点を示し温度変化により急昇するような混和物となることがわかる。

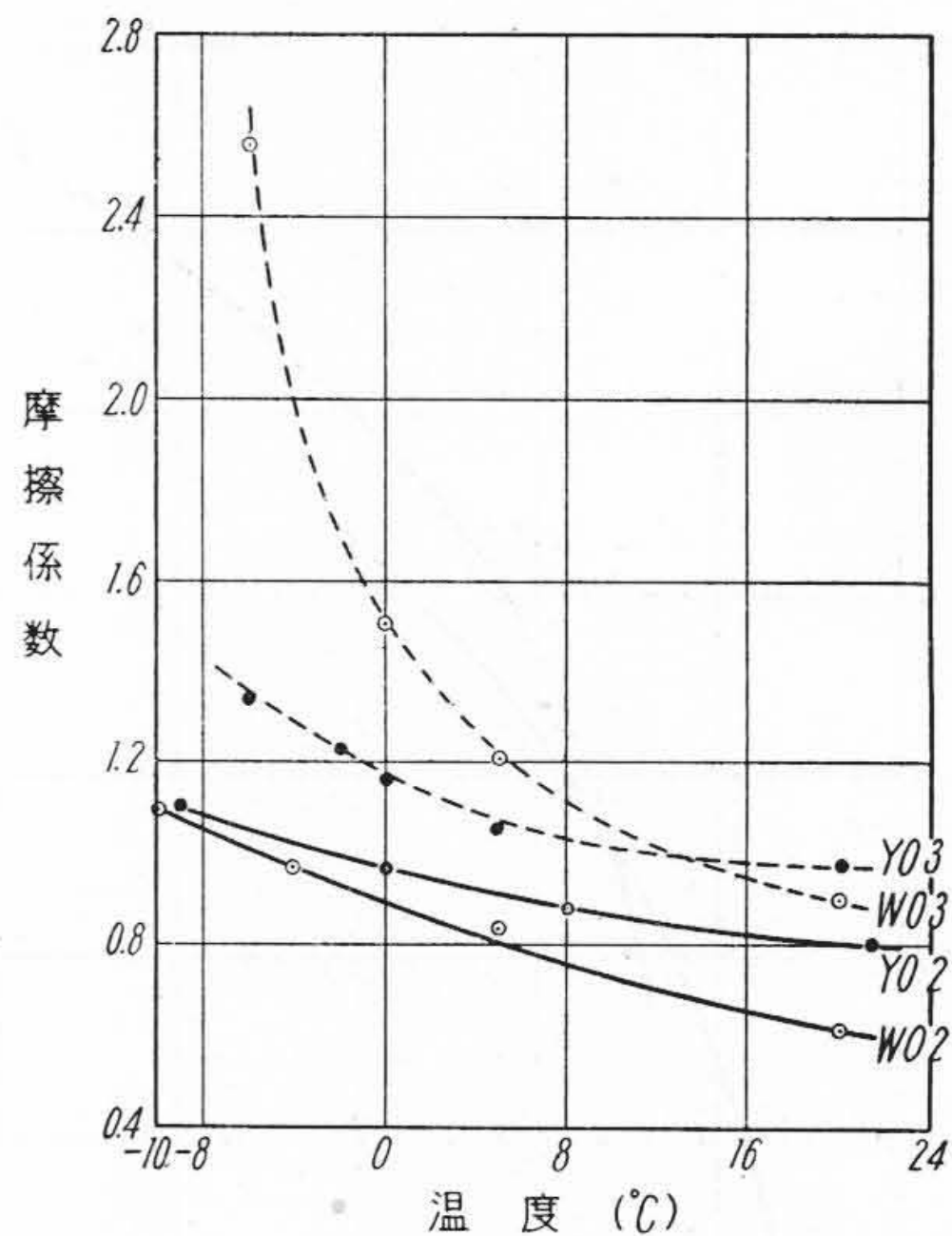
(4) 混和物の摩擦係数と屈曲試験

第 6 図の混和物 W.O-3 の摩擦係数の温度変化から潤滑性の失われる温度を知ることができたので、次に同一粘度の混和物を含浸させた試作ケーブル (鉛被上外径 32mm , 絶縁紙 K# 3125, 3100 使用) について各温度に於ける屈曲試験 (曲率半径 $=20D$, D : ケーブルの直径) を行い、破れた油浸紙の百分率と摩擦係数 (又は温度) との関係を図示すると第 7 図のようになる。

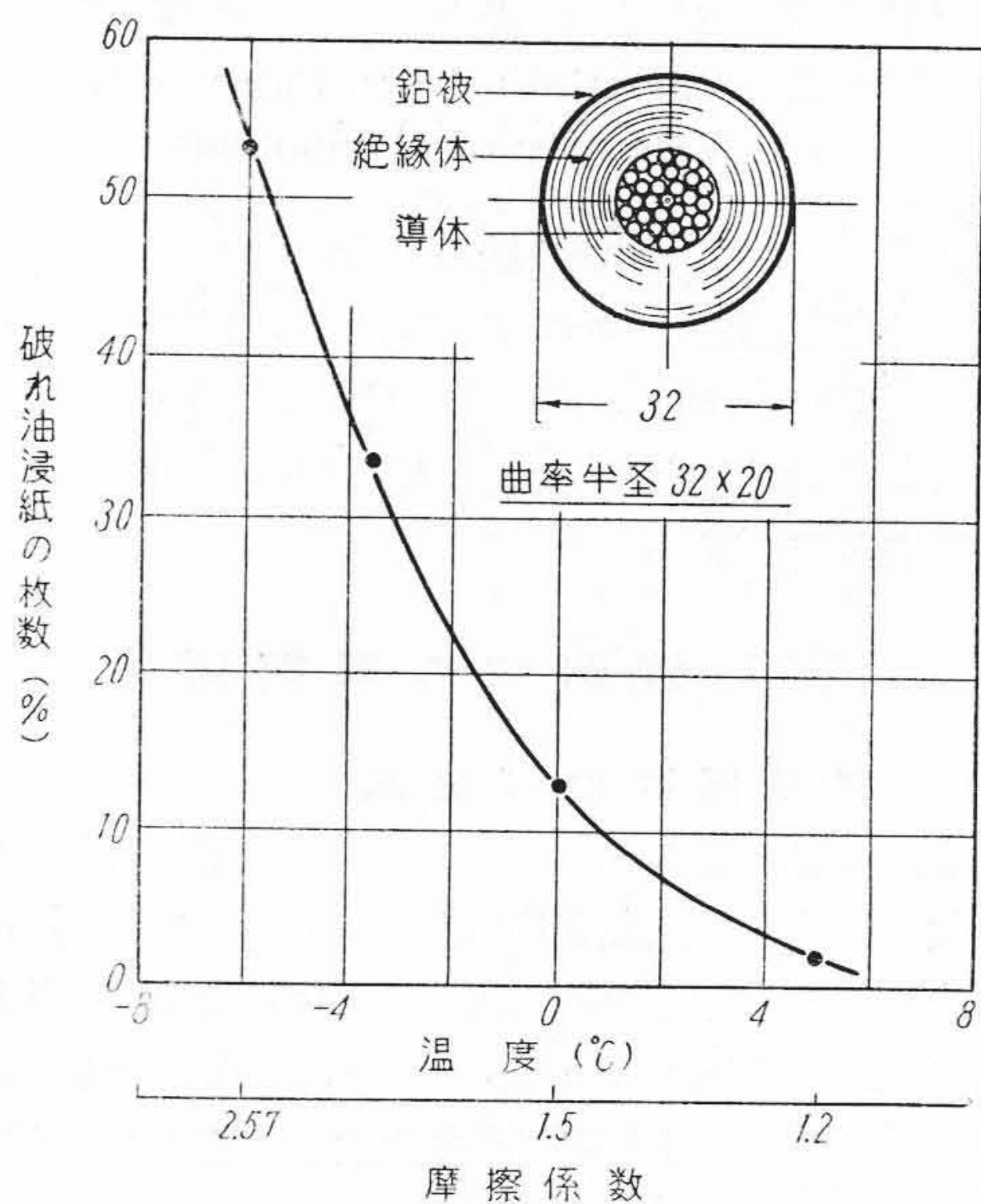
この結果から摩擦係数の急増する点はケーブルの屈曲試験に於ても油浸紙が明瞭に破れ始まる点であることが実験的に証明された。即ちこの例により摩擦係数が約 1.5 以上になるような粘度の混和物は明瞭に油浸紙が破れ始まるので、かかる含浸混和物の使用は避けなければならない。

(5) 混和物の摩擦係数とケーブルの電気的特性

含浸混和物の粘度が異なり、その他の製造条件を同一にして行つたソリッド型 3 心ケーブルの屈曲試験後 (12



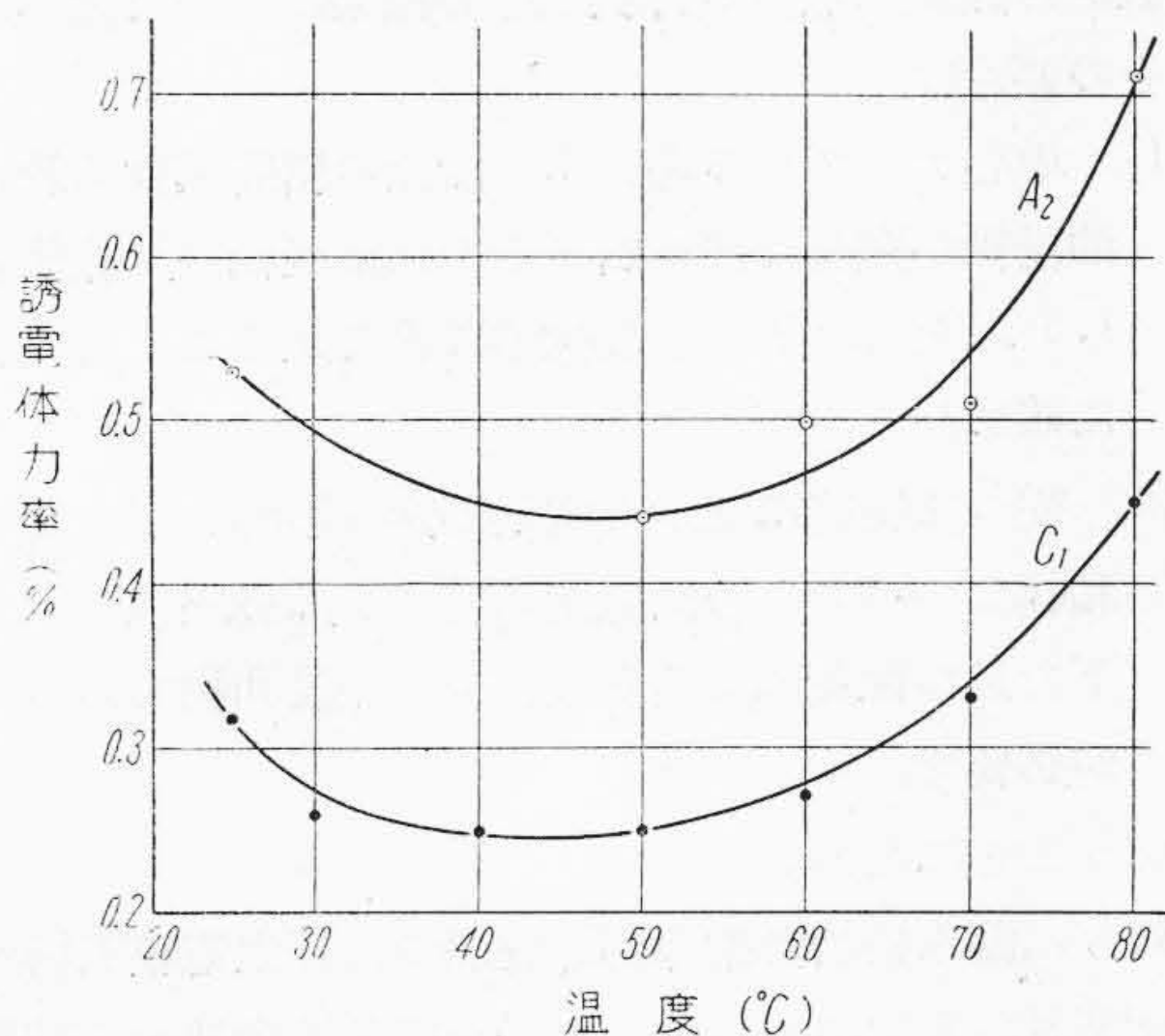
第 6 図 摩擦係数の温度による変化
Fig. 6. Variation of Friction Coefficient with Temperature of Compounds



第 7 図 単心ケーブルの屈曲試験に於ける摩擦係数及び温度と破れ油浸紙の枚数 (%)

Fig. 7. Variation of Tearing Percent with Friction Coefficient and Temperature at Bending Test of Single Core Paper Insulated Cable

倍径) の誘電体力率を測定し比較した結果を第 8 図に示す。但し同図の試料の説明は第 2 表の通りである。図より明らかなようにケーブルの屈曲試験時の油浸紙層の摩擦係数がケーブルの電気的特性に影響を与えていることがわかる。これ等力率の差に同一含浸時間のため粘度差による含浸状態の相異から起る誤差の影響を避ける意味



第 8 図 油浸紙の摩擦係数を異にしたケーブルの誘電体力率の温度特性

Fig. 8. Power Factor of Cable of Different Friction Coefficient of Impregnated Compounds

で含浸時間は長く選んであるので、これは無視できると考える。No. A₂ は導体近くの油浸紙が 1~2 枚破れており NO. C₁ は異状なかつたので、低温度に於ける混和物の粘度即ち含浸紙層の摩擦係数の影響がむしろ大きく電気的特性に影響を与えるものと考えられる。

次の第 3 表は屈曲試験後の油浸紙の機械的性質を参考のため測定したもので、屈曲時の油浸紙の摩擦係数の大

第 2 表 試 料 の 説 明

Table. 2. Explanation of Samples

試料番号	含浸混和物の粘度 (70°C)	屈曲試験温度	同温度に於ける摩擦係数
A ₂	3.2ポイズ	5°C	1.2
C ₁	2.5ポイズ	8°C	0.95

第 3 表 屈曲試験後の油浸紙の機械的性質の比較

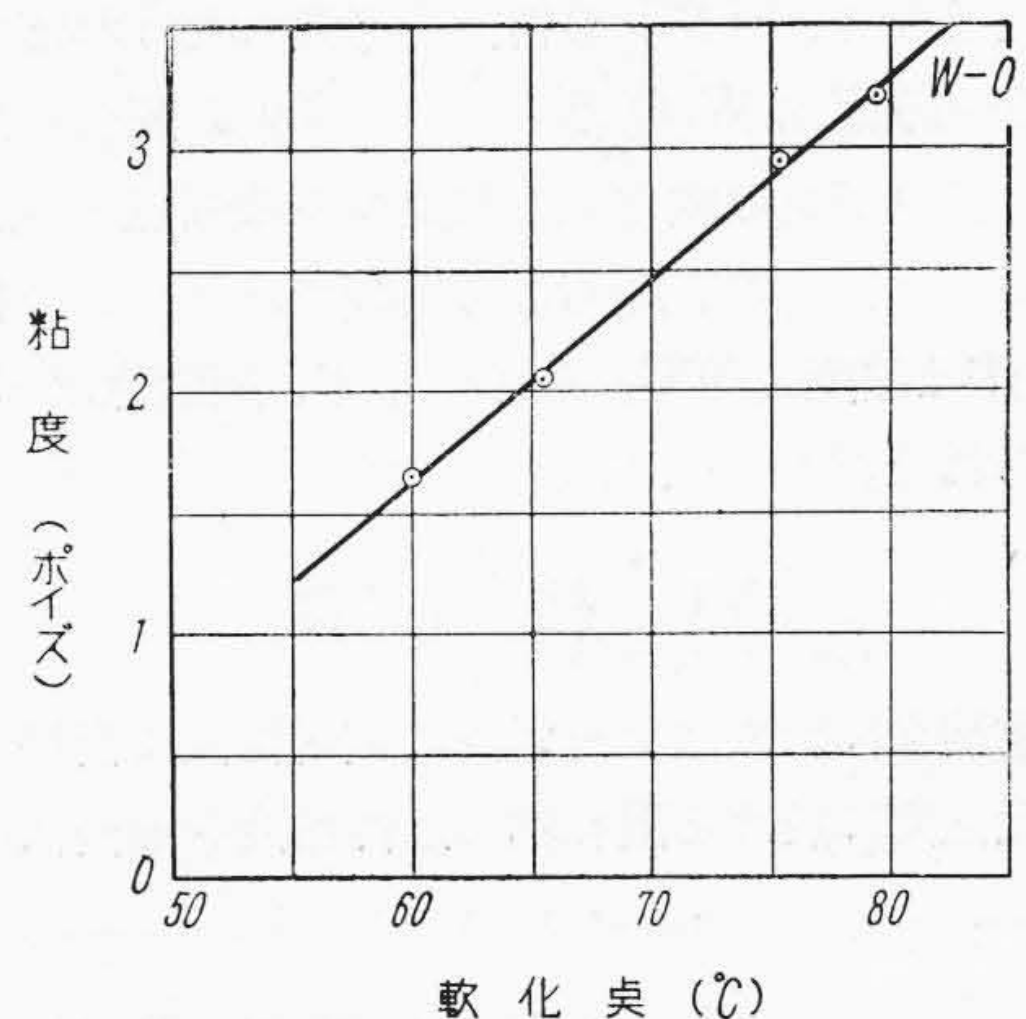
Table 3. Mechanical Properties of Impregnated Paper after Bending Test

紙の種類	屈曲条件			
	屈曲温度 (°C)	5	0	-5~-6
	摩擦係数	1.2	1.5	2.6
クラフト #3125	荷重 (kg)	19.9	15.7	14.7
	厚さ (mm)	0.125	0.125	0.125
	抗張力 (kg/mm ²)	10.6	8.3	7.8
	伸 (%)	2.9	2.3	1.7
クラフト #3100	荷重 (kg)	14.9	13.0	9.1
	厚さ (mm)	0.11	0.11	0.11
	抗張力 (kg/mm ²)	9.0	7.8	5.5
	伸 (%)	3.0	2.0	1.6

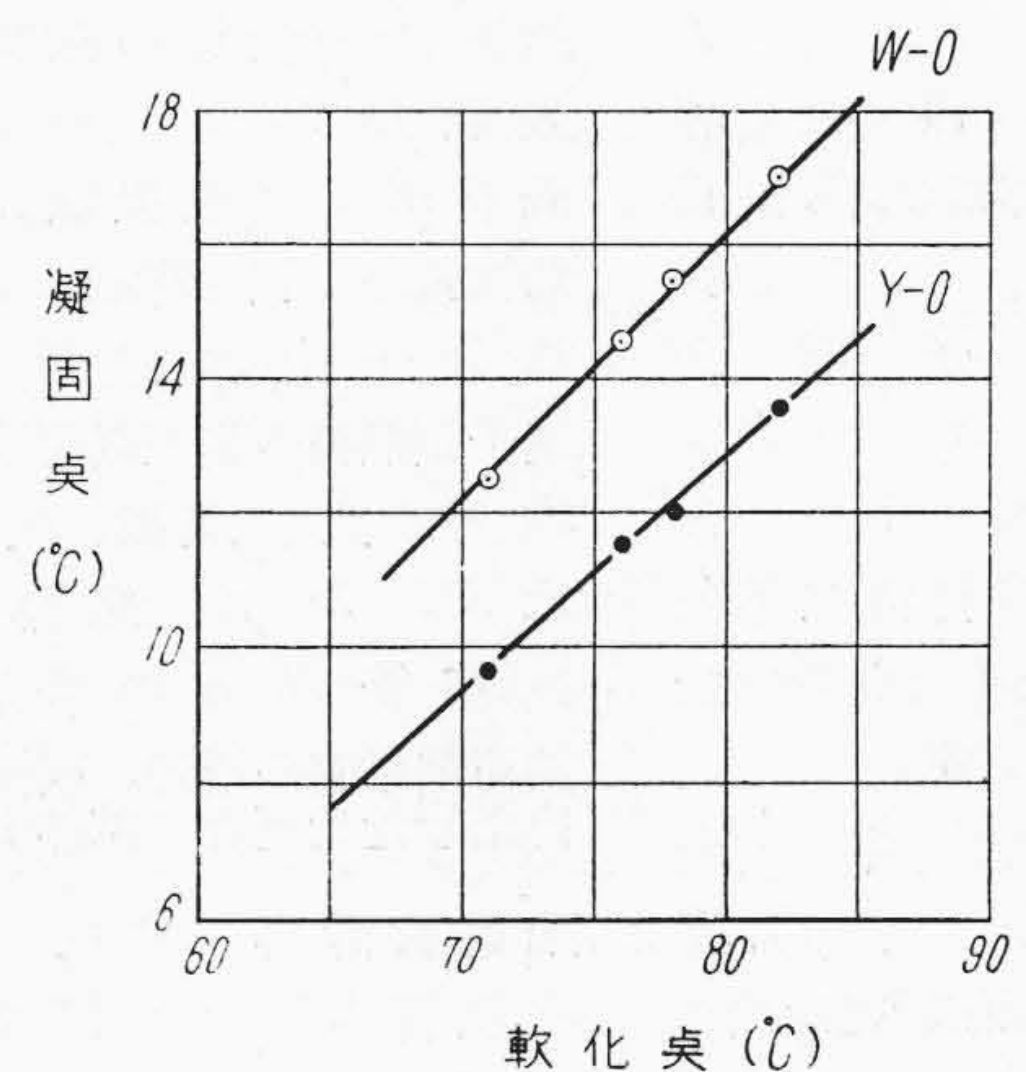
きい程、抗張力、伸び共に次第に低下しているので、このことは直ちに以上の電気特性に与えた影響を裏づけしていると考えてよい。

〔V〕 考 察

高電圧ケーブル用混和物は電気的特性が第一に優れたものでなければならないが、この目的に対しては第 3 図からケーブル油に配合するロジンの量は 10% 以上がよいことが明かである。然し凝固点は第 2 図に示すようにロジンを配合して粘度を増すほど高くなる。例えば W.O 系混和物は粘度が約 3 ポイズのとき屈曲試験温度の 5~10°C に近い凝固点であるから、混和物が流動性を失い摩擦係数の大きい状態で屈曲されることになる。又凝固点の高い混和物はボイド (Void) が生成され易くイオン化電圧も低いことが知られているので、この凝固点の影響を無視してロジン配合量を増し粘度を高くすることは



第 9 図 ロジン軟化点と混和物の粘度
Fig. 9. Relation between Softening Point of Eosin and Viscosity of Compounds



第 10 図 ロジン軟化点と混和物の凝固点
Fig. 10. Relation between Softening Point of Rosin and Set Point of Compounds

冒険である。従つて第 6 図の W.O-2 及び Y.O-2 が示すように温度による変化が少なく -10°C 以内で摩擦係数が 1.5 以下の混和物を選ぶことが適当である。摩擦係数は -10°C まで測定したが、これはケーブルの布設時遭遇する最低気温を一応 -10°C と考えたためで米国に於ても同温度を最低気温⁽⁵⁾としているようである。凝固点からも低温度に於ける適性粘度を或る程度推定できるが、第 2 図の W.O-2 と Y.O-3 は同一凝固点であつても第 6 図に見るように摩擦係数—温度関係曲線は同一でない。従つて摩擦係数から混和物の粘度を決める方が安全であると考え。又同図はケーブル油の種類によつて配合し得るロジンの許容最大配合量（従つて混和物の許容最大粘度）のあることがわかり、ナフテン系油がパラフィン系油よりもこの許容最大配合量の大きいことを示している。

ロジンの軟化点も混和物の粘度及び凝固点に大きい影響を与えるので、ロジンの特性を考慮しなければならない。第 9~10 図は W.O 油にロジン 30% 配合した混和物についてロジンの軟化点と粘度及び凝固点との関係を示したものである。即ちこの実験ではロジンの軟化点 10°C の差は粘度 (70°C) が 1 ポイズ、凝固点は 4°C の差が見られた。

〔VI〕 結 言

以上本論文に於てはケーブルの電気特性に密接に関係のある低温度に於ける混和物の適性粘度を油浸紙の摩擦

係数から間接に求める方法とその結果について述べた。

その要点は

1. 単心ケーブルの場合 20 倍径の屈曲試験に於いて油浸紙が顕著に破れ始まるのは油浸紙の摩擦係数が 1.5 以上となるような状態に於て起ることを実験的に確めた。
2. 従つて屈曲に安全で電気特性に影響を与えない混和物は -10°C の低温度に於ても摩擦係数が 1.5 以下で且つ温度による変化の少ない混和物であることが必要である。

ということになる。

終りに臨み終始御指導御鞭撻賜つた日立電線工場内藤技術部長、日立中央研究所主任研究員河合博士、試作課長久本博士に深く謝意を表する次第である。又電気測定に協力された佐藤、庄司の両氏に厚く御礼申上げる。

参 考 文 献

- (1) 日立評論 34 270 (昭 26)
- (2) Kirch. Riebel; Arch. f. Electrotechnik., 24. 553. (1930)
- (3) Rily. Scott; J. Inst. Ele. Eng., 66. 805. (1928)
- (4) Whitehead. Chapman; J. Frankl. Inst., 213. 245. (1941)
- (5) Sommerman; Ele. Eng., 56. 569. (1937)
- (6) 藤沢、中山、津村; 電気三学会第 26 回連合大会 予稿 95 (昭 27)
- (7) 松島; 古河電工、No. 28. 49 (昭 12)

日立製作所社員社外寄稿一覧表 (昭和 27 年 8 月分)

投 稿 先	題 名	執筆者所属	執 筆 者 名
動力協会	本邦発電所機器の最近の動向	本店	駒井健一郎
電力協会	遮断器の最近の動向について	多賀工場	桑山正俊
産機協会報	最新型 165t レードルクレン	亀有工場	山本憲
東北電力電力講習書	渦巻ポンプ取扱法について	本店	関岡始
金 属	鋳物製品の硬さ測定についての考察	亀戸工場	村上国輔
高分子学会	高分子絶縁材料と湿度	中央研究所	河合麟次郎
エレクトロニシアン	電子顕微鏡の高圧電源及びレンズ励磁電源	〃	只野文哉
機械学会	物上げ及び運搬、機械部分設計	亀有工場	平栗保平
電気絶縁材料工業会	米国の絶縁材料	日立絶縁材料工場	日月紋次平
電気通信学会	真空管寿命の管理図	中央研究所	{高田昇平三
新 電 気	誘導電動機の選定、取扱と故障の早期手当法(3)	亀戸工場	益田貞三
照明学会	自記分光光度計の試作(1)測光器の光学的特性について	中央研究所	河合麟次郎
電気計算	配電盤計器の動向について	多賀工場	辻田正一
超短波通信研究委員会	真空管の寿命に関する研究	中央研究所	高田昇平
医学生とインターン	電子顕微鏡について	〃	森戸望
機械学会	薄板圧延用ロールの表面温度の変化並に表面に発生する亀裂について	若松工場	河原英麿
ホーム文庫	新塗装法と新乾燥法	日立研究所	橋本清隆