

ブチルゴム絶縁海底ケーブルの絶縁診断についての考察

Tests of Insulation of Butyl Rubber Insulated Submarine Cable

吉 野 勇*
Isamu Yoshino

北 村 洋*
Hiroshi Kitamura

水 庭 隆*
Takashi Mizuniwa

要 旨

ブチルゴム絶縁海底ケーブルの絶縁診断方法を強制劣化ケーブルについて検討した結果、現地試験が可能で有効な試験項目、絶縁劣化判定方法を見いだすことができた。これらの方法を適用して二、三の実使用ケーブルについて7～10年間絶縁性能の経年変化を監視して絶縁劣化、寿命の判定を行なった。

1. 緒 言

日立電線株式会社では3.3 kV～22 kVまでのブチルゴム絶縁海底ケーブルを国内、国外に布設しているが、布設条件、保守上経年的な絶縁診断を実施して寿命の推定を行なうことが重要である。ブチルゴム絶縁海底ケーブルは昭和31年に初めて22 kVのものを納入したのをきっかけにその後も需要が多く、これらの寿命は握のため初期のころの納入品については経年的に絶縁診断を実施して今日に至った。またこれと並行して絶縁診断試験項目、試験結果に基づく寿命の推定、判定方法を確立するため、強制吸水劣化ケーブルについて各種の試験を行ない、貴重な技術的知見を得た。

ここで社内で検討した絶縁診断方法および劣化判定法を述べるとともに布設以来実施している二、三の使用ケーブルについての経年的絶縁診断結果との対応性について報告する。

2. 強制吸水劣化ケーブルによる絶縁劣化判定法の検討

2.1 強制吸水劣化方法

吸水劣化を促進するために、特に耐水性の劣る配合の600 V～6 kVブチルゴムケーブル線心（導体サイズ14～38 mm²）を使用して表1に示すような強電界、高温下の試験条件下に長期間さらして強制吸水劣化ケーブルを作り、これを供試した。なおゴム、ポリエチレンのような有機材料を浸水させた場合には一般に電気的特性の低下を生じ、特に強電界下の高温水浸漬という異常条件では、吸水が促進されることが文献に報告されている^{(1)～(4)}。図1に強制劣化試験状況の一例を示す。なお試料数は約100本である。

2.2 強制吸水劣化試験ケーブルの特性試験

表1に示すような各条件における試験試料について表2に示すような試験を行ない、経日変化を調査するとともに絶縁抵抗、誘電正接（以下 $\tan \delta$ と呼ぶ）、直流高圧印加時の成極指数と破壊電圧の関係を統計的に調査した。なお各特性試験時の温度は比較上30℃一定とした。これらの特性を経日的に調べることにより、どの特性が絶縁劣化を推定するのに有効であるか、寿命（模擬実験では破壊電圧が初期値の20%以下となる場合で実用上は内雷も考慮した使用電圧以下とみなせる。）を推定するのに有効であるか、また保守するうえの絶縁判定基準はいかにあるべきかを解明するうえに必要な資料が得られることを期待した。

2.3 試験結果

各試験条件における試験結果の詳細はこれを割愛するが、測定したおもな特性の一例は図2～図7に示すとおりである。

図2はブチルゴムケーブルを75℃の温度の水道水に浸漬し、交流3 kVを連続課電している試料の静電容量、絶縁抵抗、誘電正接、交流破壊電圧の経日変化を示しており、図3はブチルゴムケーブルを高温（90℃）の水道水に浸漬し、交流6.9 kV連続課電試料の各特性

表1 強制劣化試験条件

項 目	試 験 条 件
供試ケーブル 絶 縁 厚	1.0 mm～5.0 mm (600 V～6 kV ケーブル)
浸 漬 条 件	常温水、高温水 (50～90℃)
課 電 条 件	無課電 課電 (交流 3 kV～12 kV)

表2 強制劣化ケーブル特性試験内容

試 験 項 目	試 験 方 法	測 定 項 目
静 電 容 量	1 kc 容量ブリッジによる	① 絶対値, ② 経日増加率
絶 縁 抵 抗	直 偏 法 に よ る (電圧: 200 V)	① 絶対値, ② 経日変化
誘電正接 ($\tan \delta$)	シェーリングブリッジによる (測定周波数 50 c/s)	① 絶対値, ② 電圧特性 (2, 4, 6, 8 kV) ③ 経日変化
直 流 高 圧 法	半波整流回路による直流印加	① 充電電流—時間特性 (電圧特性) ② 10 分充電値における絶縁抵抗 ③ 成極指数 (1 分充電値/10分充電値) ④ 成極指数 — 電圧特性 ⑤ 上記各特性の経日変化
交流破壊電圧	50 c/s 交流電圧 50 kV 30 分ずつ昇圧し、破壊させる	① 絶対値 ② 経日変化

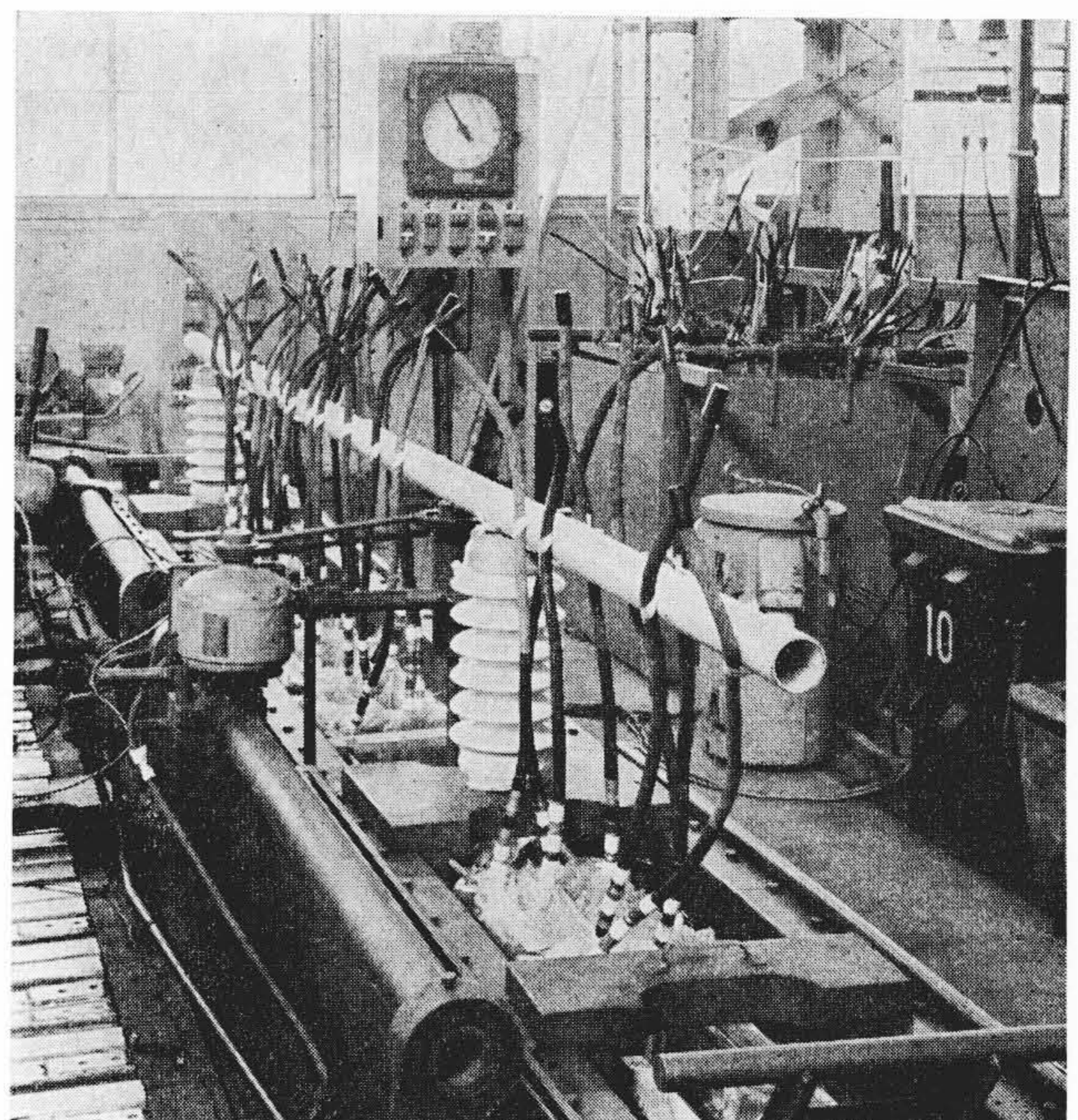


図1 600 V～6 kV ブチルゴムケーブル
強制劣化試験状況の一例

* 日立電線株式会社日高工場

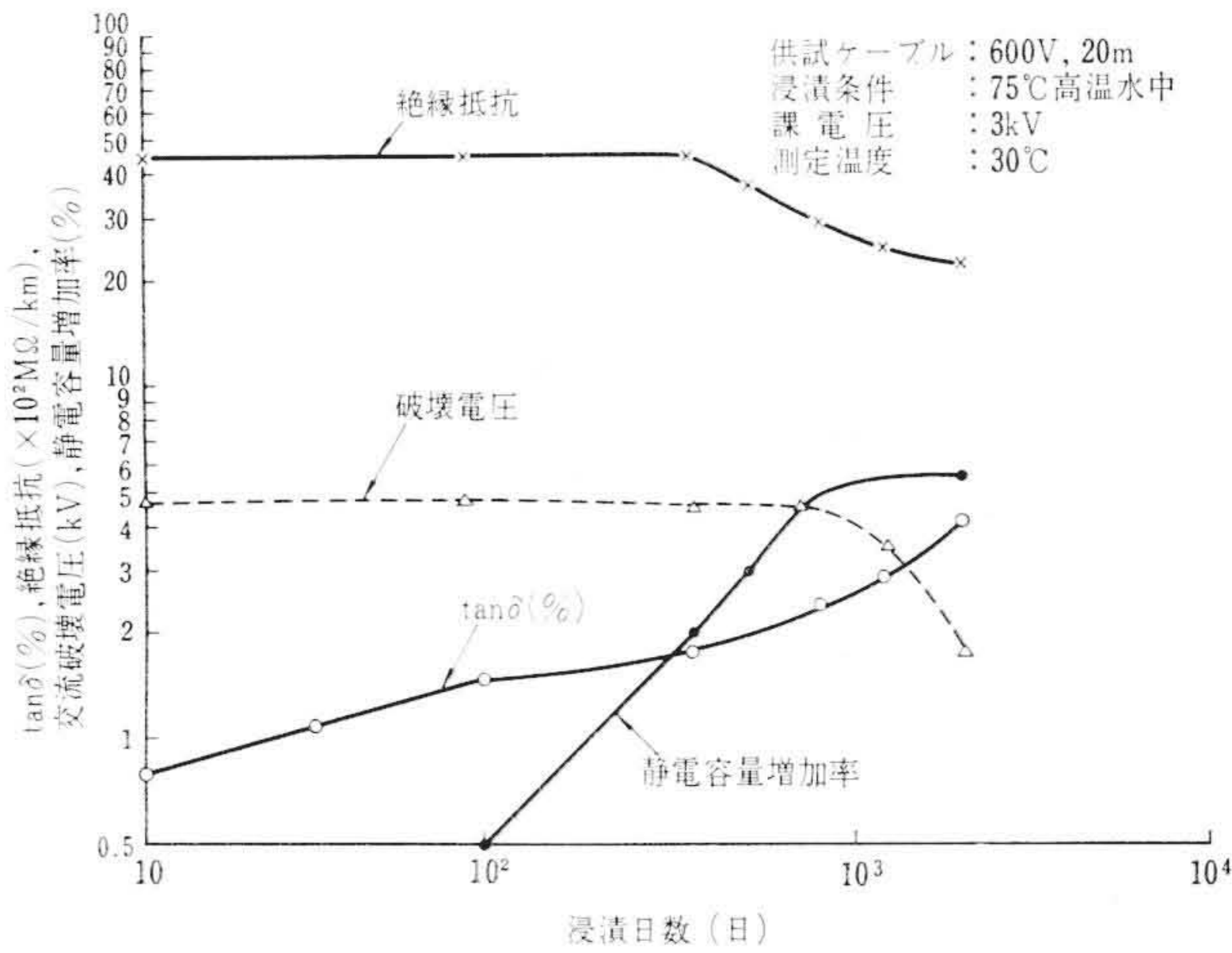


図2 ブチルゴムケーブル常温浸水3kV連続課電による電気特性一経日変化

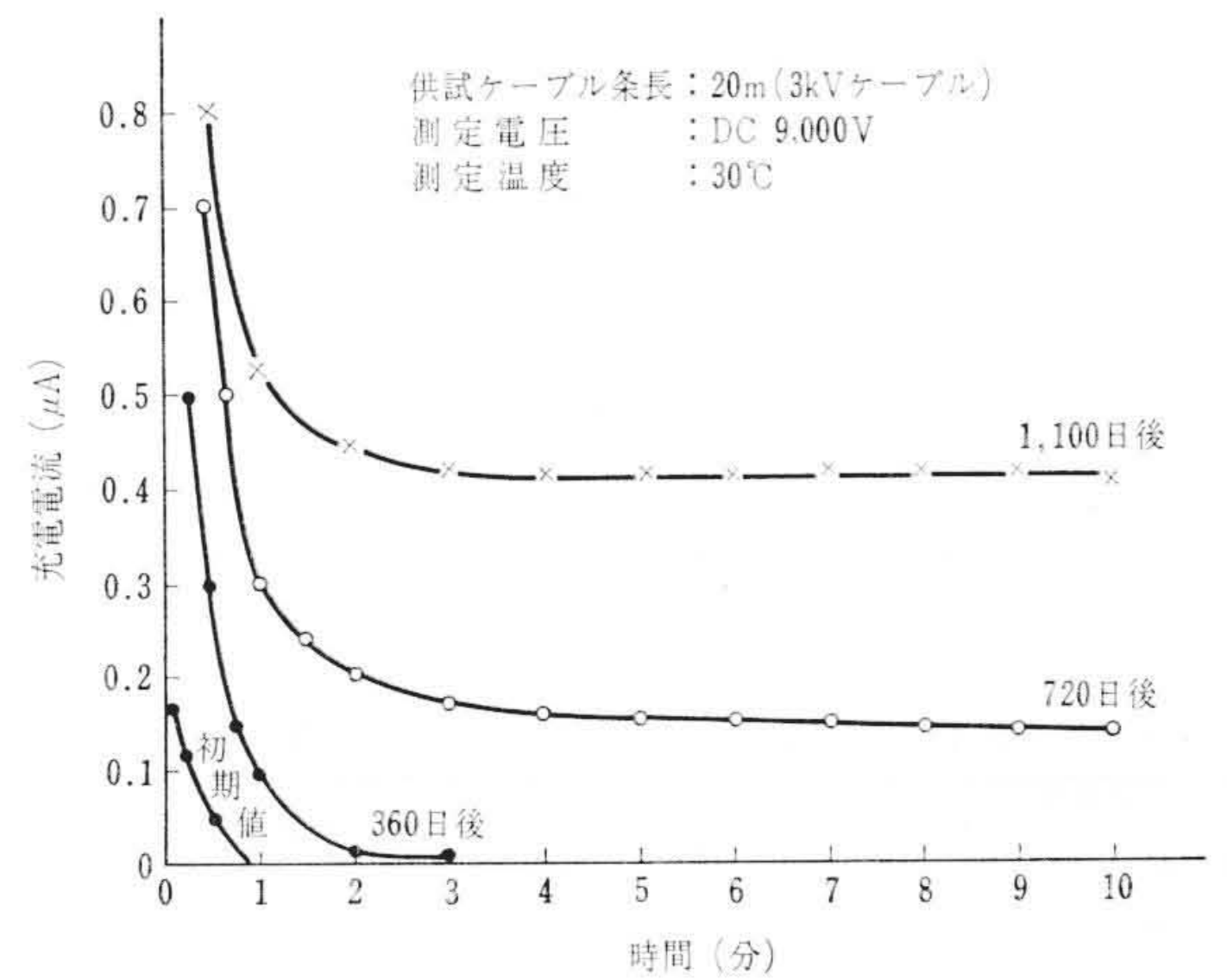


図5 ブチルゴムケーブル強制吸水劣化ケーブルの直流高圧法による充電電流一時間特性経日変化

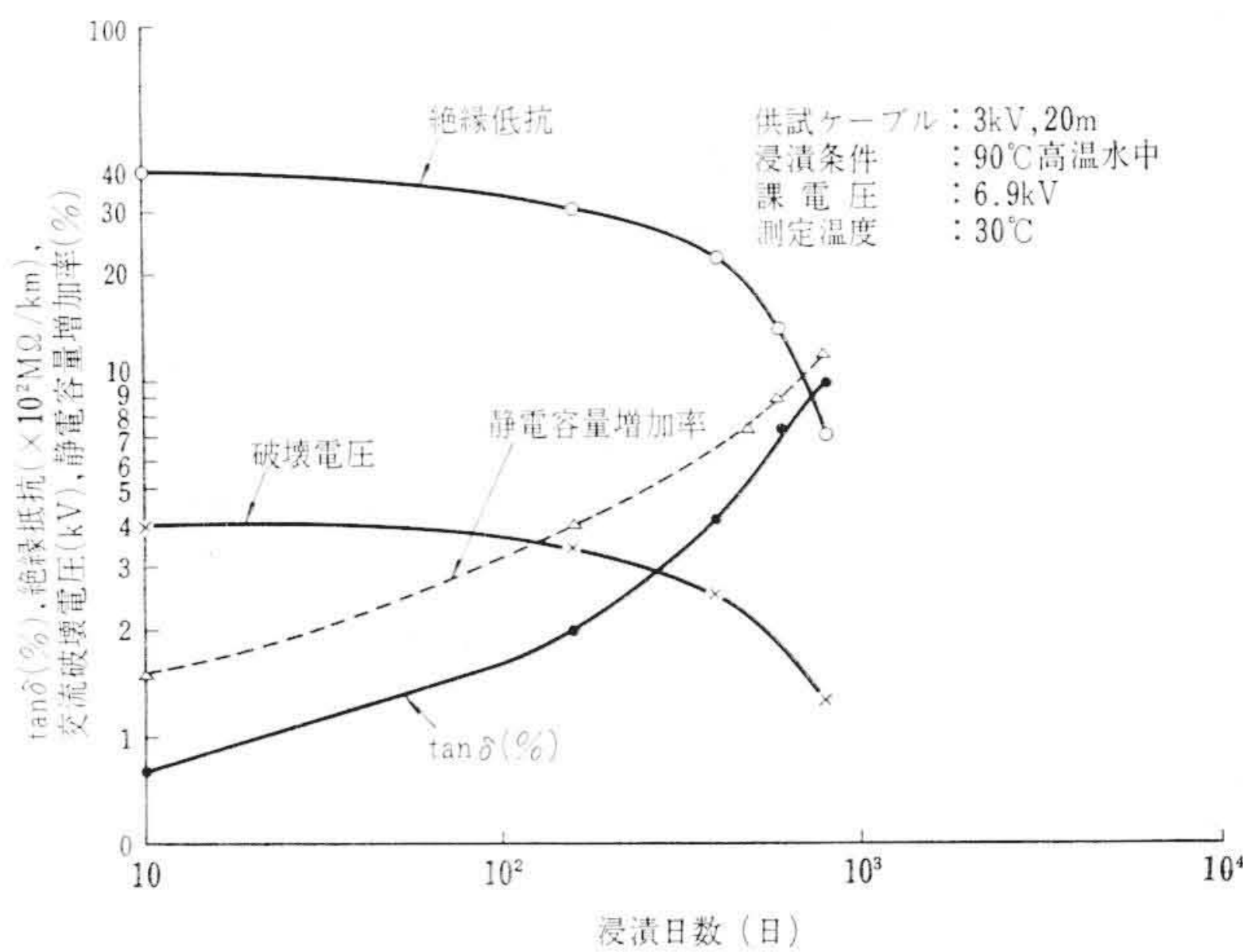


図3 ブチルゴムケーブル高温水浸漬6.9kV連続課電による電気特性一経日変化

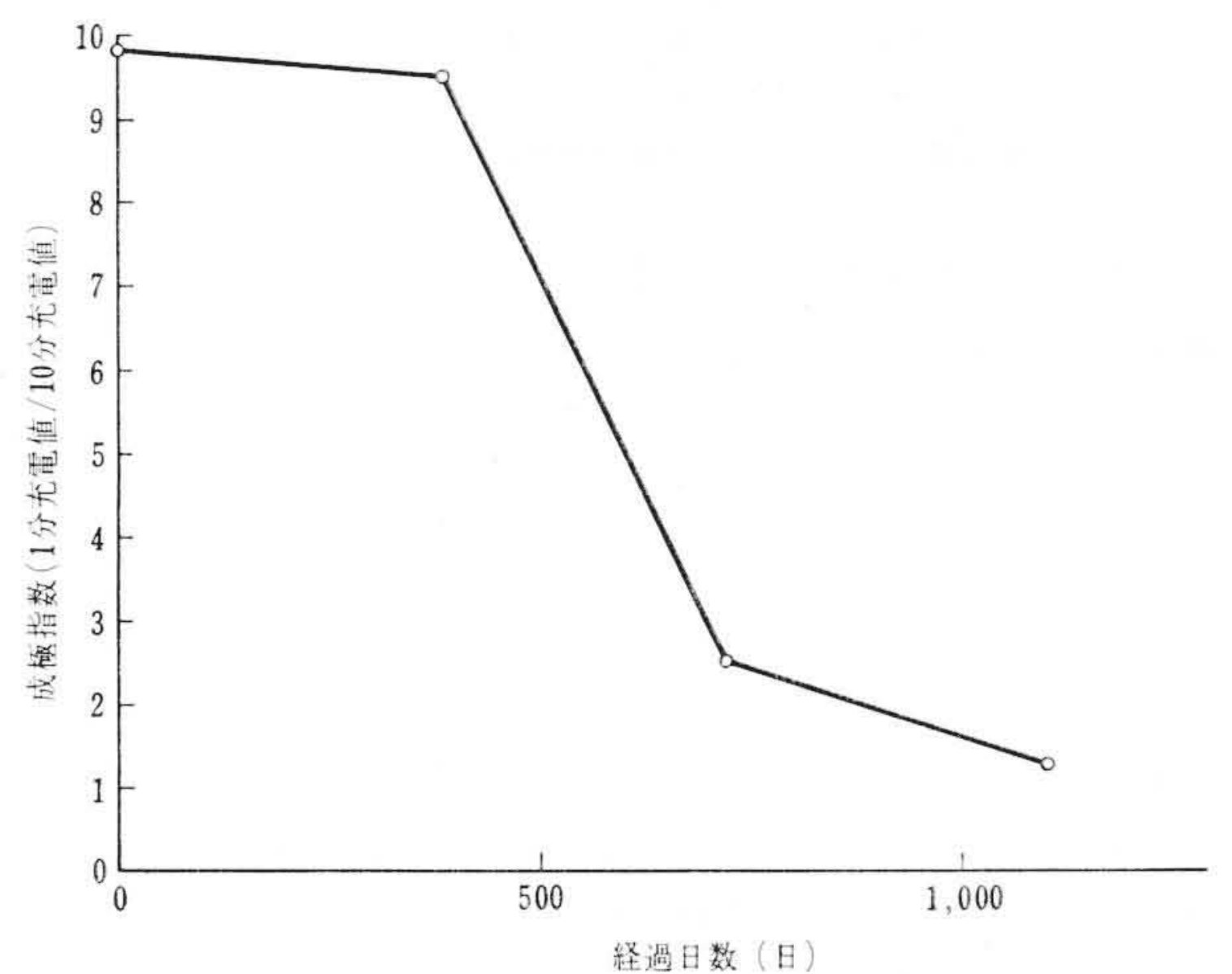


図6 ブチルゴムケーブル強制吸水劣化ケーブルの直流高圧法による成極指数一経日変化

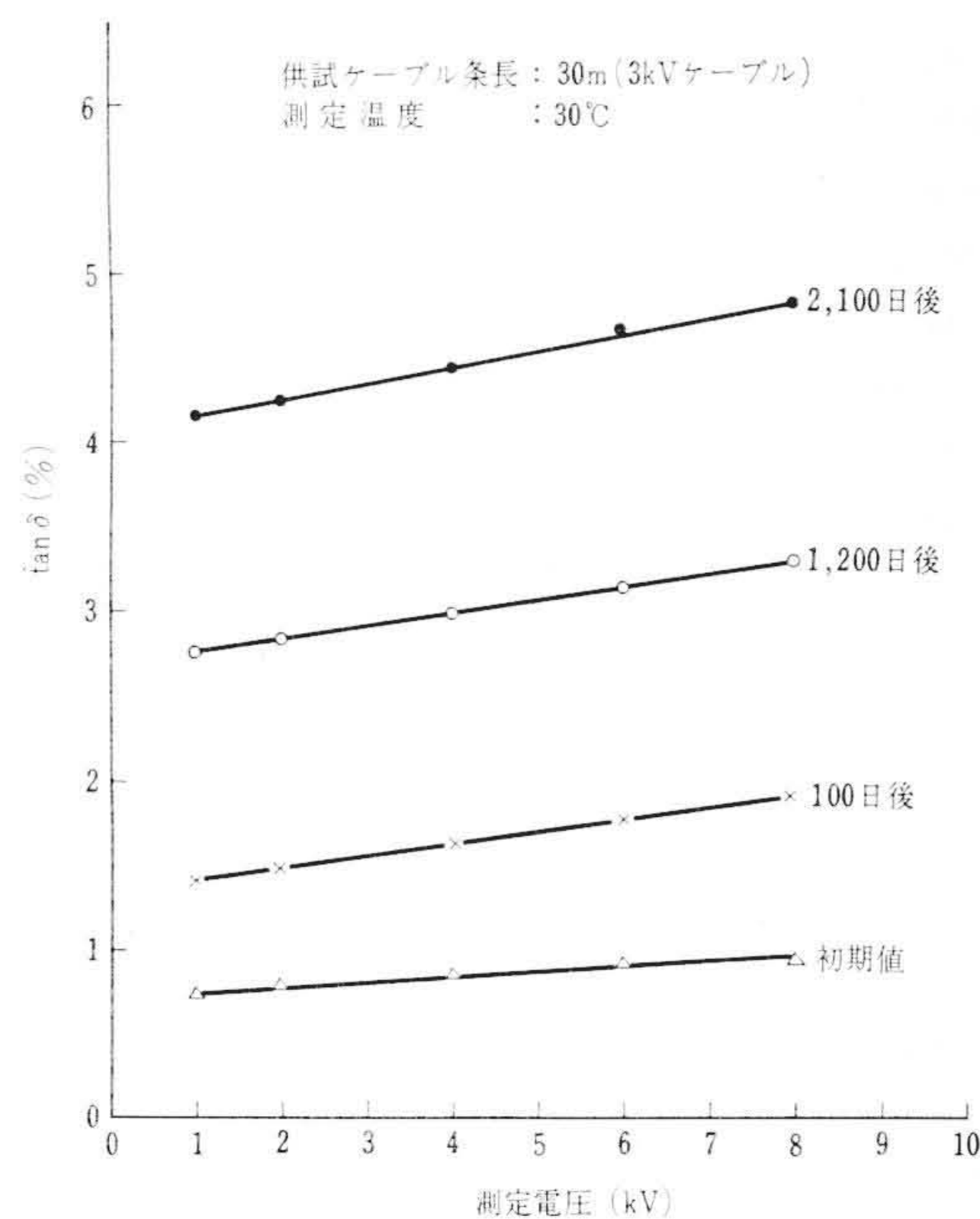


図4 ブチルゴムケーブル常温浸水3kV連続課電材料のtan δ-電圧特性一経日変化

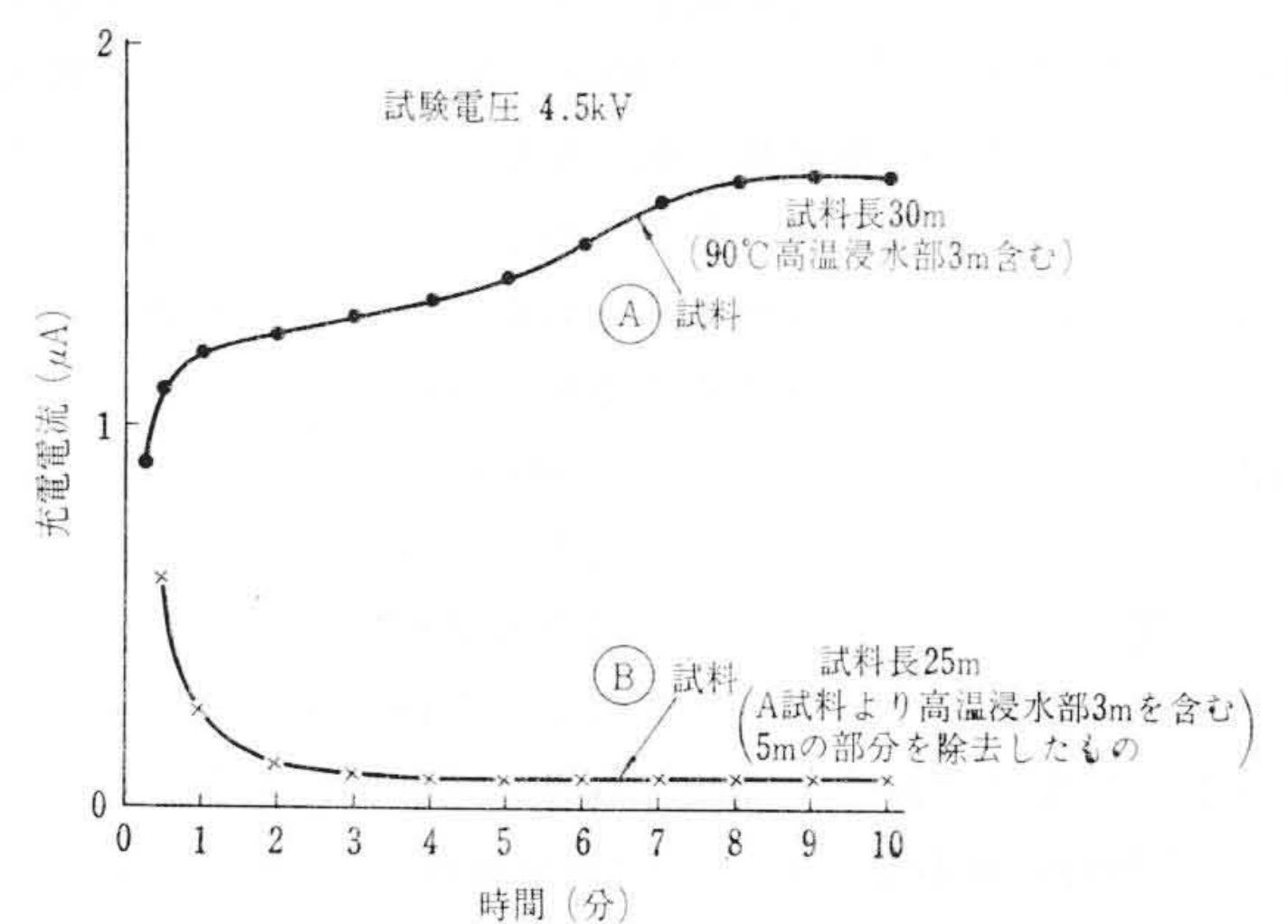


図7 3kV ブチルゴムケーブルの局部的吸水劣化試料の直流高圧法による充電電流一時間特性

表 3 絶縁抵抗 10 分値と寿命との関係

	絶縁抵抗値 (MΩ/km 20℃)	1 以下	1~10	10~100	100~1,000	1,000 以上	合計本数
メ ガ 法	供試ケーブル (本数: A)	9	29	42	24	13	117
	寿命ケーブル (本数: B)	9	24	29	8	2	
	寿命検出率 ($\frac{B}{A} \times 100\%$)	100	83	69	33.2	15.4	
直 流 高 圧 法	供試ケーブル (本数: A)	13	32	41	18	13	117
	寿命ケーブル (本数: B)	12	28	23	2	0	
	寿命検出率 ($\frac{B}{A} \times 100\%$)	92.5	85	56	11.1	0	

注 1 メガ法と直流高圧法の供試ケーブルは同一試料である。
 注 2 寿命とは交流破壊電圧が初期値の 20% 以下に低下したものをいう。
 (以下寿命とは上記の意味をさすものとする。)

表 4 成極指数と寿命の関係

試験電圧 寿命検出率	1.5E ₀ 以下	2E ₀ 以下	3E ₀ ~4E ₀	供試料(本数)	寿命(本数)
100.0	<1	<1	<1	8	8
100.0	1~1.2	<1	<1	3	3
75.0	1~1.2	1~1.2	<1	4	3
40.0	1~1.2	1~1.2	1~1.2	10	4
66.7	1.2~1.5	<1	<1	3	2
66.7	1.2~1.5	1~1.2	<1	6	4
50.0	1.2~1.5	1.2~1.5	<1	2	1
0	1.2~1.5	1.2~1.5	1~1.2	1	0
12.5	1.2~1.5	1.2~1.5	1.2~1.5	8	1
0	1.5<	1.5<	1~1.2	5	0
0	1.5<	1.5<	1.2~1.5	4	0
0	1.5<	1.5>	1.5<	6	0

注 1 E₀: 使用電圧 注 2 成極指数測定温度 30℃

経日変化を示したものである。図 2, 図 3 から経日により各特性とも顕著な変化を示しており, 吸水による特性変化であることは明らかである。したがって寿命の推定は別としてこれら特性を測定して経日変化を調べることは吸水劣化の進行状況を推定するのに効果的であることを確認した。なお図 2 と図 3 に示した経日変化の大小の差は供試ケーブルの強制吸水劣化条件(浸水温度, 絶縁厚, 印加電界)の差によるものである。

図 4 は強制吸水劣化ケーブルについて測定した $\tan \delta$ —温度特性の経日変化である。この図から経日によりかなり吸水劣化して $\tan \delta$ は増加するが, 電圧による増加は少なく, かつこの傾向は経日によってもほとんど変化しないことがわかる。この事実は現地布設ケーブルの $\tan \delta$ 測定において低い電圧で測定しても劣化状況を推定できることを意味し, 低電圧で測定する場合は試験変圧器の容量も小さくてすみ好都合である。

図 5 は強制吸水劣化ケーブルについて実施した直流高圧法による充電電流—時間特性の経日変化である。この結果から経日吸水劣化によりきわめて短時間に充電電流が飽和して成極指数(1 分充電電流/10 分充電電流)が小さくなる傾向が顕著にでてくる。図 6 は図 5 の曲線より求めた成極指数—経日変化であるが前述したように経日吸水劣化により成極指数が著しく低下することがわかり, 成極指数の変化を追跡することは吸水劣化判定方法として有効であることを示している。このような現象はほかの試料でも確認している。

図 7 は 3 kV ブチルゴムケーブル 30 m について端末部 3 m を高温水に長期間浸漬し, 局部的に吸水劣化させた場合の直流高圧法による充電電流—時間特性である。図中㊸試料は局部的吸水劣化部を含んでおり, ㊹試料は㊸試料の端末より 5 m を切り取り, 含水劣化部を除去したものである。図からも吸水部を含むと含まないで充電電流—時間特性(吸収電流特性, 成極指数特性)の傾向に顕著な差が現われ成極指数が著しく変化することが確認できる。

2.4 劣化判定方法の検討

2.3 で述べた試験結果は強制吸水劣化ケーブルの一部についての電気特性低下状況を示したものである。ここではさらに突っ込んで

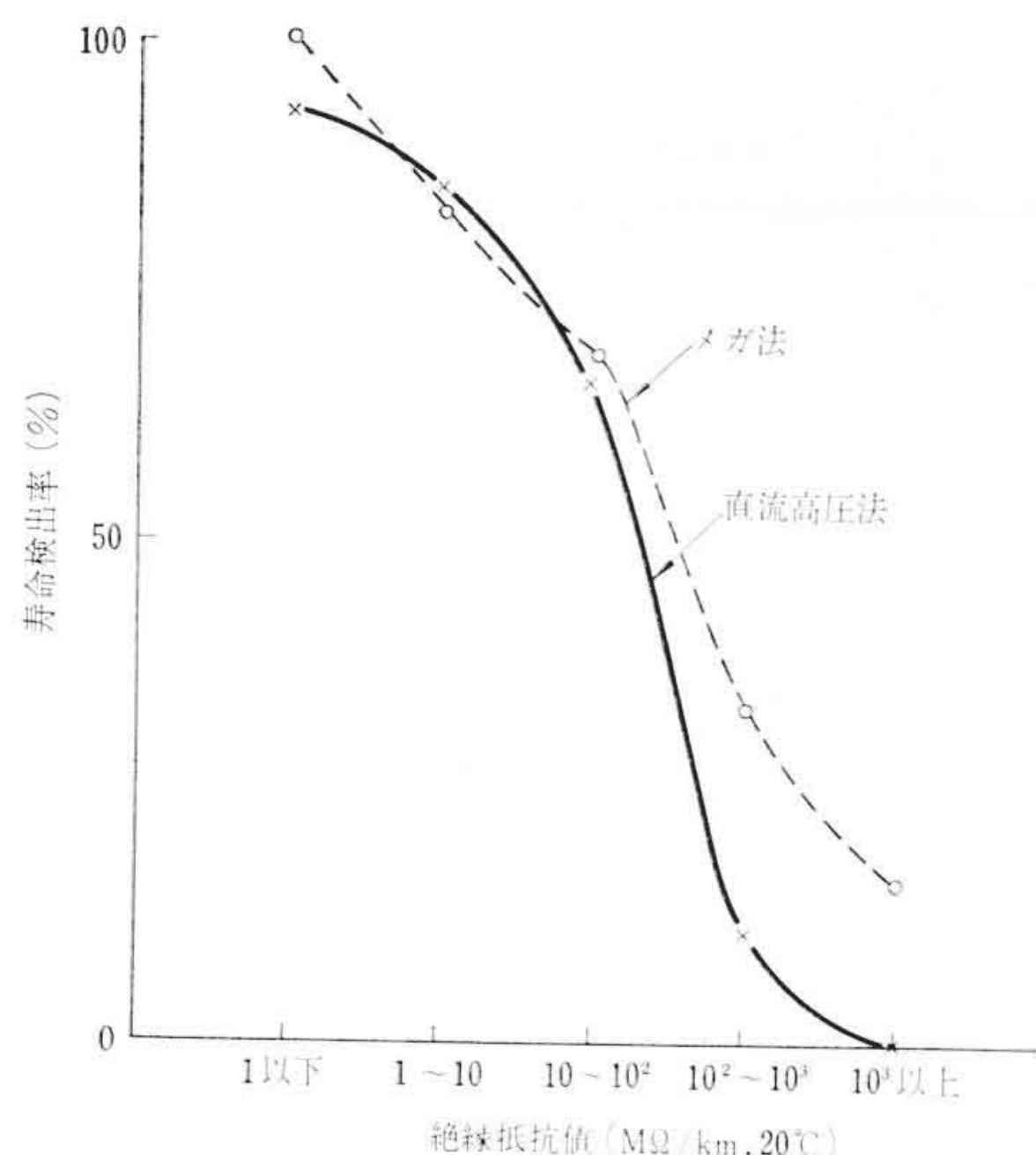


図 8 絶縁抵抗値と寿命検出率の関係

表 1 に示したおのおのの強制劣化条件で劣化させた供試ケーブル約 100 本についての特性試験結果から劣化判定方法について言及する。すなわち強制劣化ケーブルについて表 2 に示したような電気的特性を測定したのち交流破壊電圧を測定した。これらの結果から破壊電圧が初期値の 20% まで低下した場合を寿命と判定し, 寿命と電気的特性の相関性を統計的に検討したが特に絶縁抵抗, $\tan \delta$, 直流高圧印加時の成極指数と寿命の関係に興味ある結果が得られたので以下報告する。なお破壊電圧試験は 5 kV/30 分印加後 5 kV/30 分の割合で昇圧して破壊させた。破壊電圧が初期値の 20% 以下になると使用電圧に対して 3 倍以下の裕度しかなくなり, もはや開閉サーージなどのうち内雷によって絶縁破壊する確率が多くなるので寿命と判定することにした。

(1) 直流特性と絶縁耐力との関係

(a) 絶 縁 抵 抗 値

メガおよび直流高圧法による絶縁抵抗 10 分値と寿命(破壊電圧が 20% 以下に低下する場合)との関係を確率で示すと表 3 のようになる。表 3 は 3 kV, 6 kV の強制劣化ケーブルおよび撤去ケーブル約 100 本についての結果で供試試料の導体サイズは 14~38 mm² である。また絶縁抵抗測定電圧はメガの場合 1,000 V, 2,000 V, 直流高圧法の場合は 6 kV~15 kV まで印加した。表 3 によると絶縁抵抗値と寿命には明らかに相関性がみられ, 絶縁抵抗の監視は絶縁診断として有効であることを示している。すなわちメガ法, 直流高圧法とも絶縁抵抗が 10 MΩ/km・20℃ 以下になるといずれも 90% 程度寿命がきていると判断できる。しかしながらメガ法では 1,000 MΩ/km・20℃ の絶縁抵抗を示すものでも破壊電圧がはなはだしく低下して寿命と判断されるものもあり, メガ法による絶縁判定のみでは不十分であることを物語っている。この点, 直流高圧法では高電圧により絶縁劣化部の絶縁抵抗が低下として検出できるので, メガ法より有効であるといえる。これは絶縁抵抗値と寿命検出率の関係を示した図 8 によっても明らかである。図 8 は寿命検出における絶縁抵抗の検査特性曲線ともいえるもので, この曲線から明らかにメガ法よりも直流高圧法のほうが信頼度が高いことを示している。

(b) 成 極 指 数

成極指数とは絶縁物に一定の直流電圧を印加したときの 1 分後の充電電流を 10 分後の充電電流で除した値をいい, いわゆる絶縁物の吸収電流—時間特性の傾向を知る目安となるものである。ここで 3 kV, 6 kV の強制劣化ケーブル 60 本についての成極指数とこれの破壊電圧を測定して求めた寿命との関係を表 4 に示す。

表5 $\tan \delta$ と寿命の関係

$\tan \delta$ (%)	<2	2~5	5~10	10以上
供試ケーブル(本数) A	13	17	18	12
寿命ケーブル(本数) B	0	2	15	11
寿命検出率(%) $\left(\frac{B}{A} \times 100\right)$	0	11.8	83.4	91.6

表6 絶縁劣化の判定基準

劣化判定項目	判定	使用不可	要注意	使用可
絶縁抵抗	メガ値 $\left(\frac{M\Omega}{km} 20^\circ C\right)$ 信頼度 (%)	10以下 86.8	10~100 31	100以上 72.8
	直流高圧法 $\left(\frac{M\Omega}{km} 20^\circ C\right)$ 信頼度 (%)	10以下 89	10~100 44	100以上 93.5
成極指数	試験電圧 $2E_0$ 以下 信頼度	<1 93	1~1.5 58	1.5< 100
	試験電圧 $3\sim 4E_0$ 信頼度 (%)	<1 81	1~1.2 75	1.2< 94.5
誘電正接 ($\tan \delta$, %) 信頼度 (%)		5以上 86.5	2~5 88.2	2以下 100

注 信頼度とは使用不可、要注意の判定をした場合 2~3 年以内に絶縁破壊する確率を示し、使用可の場合には以後の劣化がなければ半永久的に無事使用できる確率を示す。

試験電圧はブチルゴムの交直比(交流破壊電圧/直流破壊電圧)を考慮して使用電圧の4倍までの電圧を印加した。表4から同じ試料でも試験電圧によって成極指数が若干変化するものがあり、電圧が高くなるほど成極指数が小さくなる傾向がみられることで、したがって寿命判定を行なう場合の成極指数の尺度としては試験電圧に影響する点が注目される。たとえば表4から試験電圧が $3E_0\sim 4E_0$ の場合、供試ケーブル60本のうち26本が成極指数が1より小さくなりそのうち21本が寿命がきているのに対して $1.5E_0$ 以下で測定した場合には60本のうちわずか8本のみが1より小さい成極指数を示すにすぎない。したがって成極指数1を寿命の判定基準とする場合には明らかに試験電圧が $1.5E_0$ 以下の場合より $3E_0\sim 4E_0$ のほうが寿命検出能力がすぐれているといえる。

(2) $\tan \delta$

$\tan \delta$ は絶縁物の性状変化を検知する方法として有効なことはよく知られている。しかしながらケーブルのように静電容量の大きい、しかも外部遮へい接地状態の絶縁物の $\tan \delta$ を精度よく測定することは非常に困難である。測定方法は後述するとしてここでは(1)と同様3kV、6kVの強制劣化ケーブル、長期間使用撤去ケーブル60本について $\tan \delta$ と寿命の関係を検討したのでこれを表5に示した。表5によると、 $\tan \delta$ が5%以上になると30本のうち26本が破壊電圧が初期の20%以下に低下して寿命と判定され、寿命検出率は86.5%に達することがわかる。また2%以下では寿命と判定される試料は見られず $\tan \delta$ の値による寿命の判定ははなはだ有効であることが理解できる。

2.5 吸水による絶縁劣化の判定方法

これまでに述べたように600V~6kVブチルゴムケーブルについて特性試験を行なった結果から、その絶縁耐力と最も関連性のある特性として絶縁抵抗、成極指数、 $\tan \delta$ があげられる。これらの各特性を測定した後の交流破壊電圧の値から、初期破壊電圧の20%以下に低下したときを寿命と仮定し、これらの各特性から吸水による絶縁劣化の判定基準を設定すると表6のようになる。表6によると吸水劣化の寿命判定試験としては $\tan \delta$ 、直流高電圧での成極指数の測定が信頼度の点でより有効であることがわかる。しかしながら $\tan \delta$ 、直流高圧法試験は社内的には測定上の問題はないが、現地試験では布設ケーブルの外部電極が接地された状態で測定する必要があり、精度のよい測定は困難である。すなわち $\tan \delta$ では外部誘導、

表7 昭和31年布設ケーブル電気特性経年変化

試験年	項目	1,000 V メガによる絶縁抵抗 $(M\Omega/km)$	直流高圧法(電圧25kV)		$\tan \delta$ (%)
			10分充電後の絶縁抵抗 $(M\Omega/km 20^\circ C)$	成極指数	
昭和31年		2,000 $M\Omega$ 以上	—	—	—
33年		2,000 $M\Omega$ 以上	134.00	3.8	—
36年		2,000 $M\Omega$ 以上	130.00	3.9	—
38年		2,000 $M\Omega$ 以上	160.00	2.5	—
40年		2,000 $M\Omega$ 以上	180.00	2.4	* 0.6 (17℃)
41年		2,000 $M\Omega$ 以上	150.00	—	** 1.08 (17℃)
ただし撤去試料による					

注1 絶縁抵抗 $20^\circ C$ 換算には JIS 規定のブチルゴム温度換算係数を使用した。
注2 * は $\tan \delta$ メータによる現地測定値で、** はシェーリングブリッジによる工場内測定値である。

表8 昭和31年布設ケーブル約10年間
使用後撤去ケーブル試料特性

* 絶縁抵抗 $(M\Omega/km 20^\circ C)$	** $\tan \delta$ (%) 電圧: 12.7 kV (25.4 kV)				コロナ開始電圧 (kV)	交流長時間破壊電圧 (kV)	インパルス破壊電圧 (kV)
	17℃	42℃	59℃	79℃			
16,000 $M\Omega$ 以上	1.08 (1.10)	1.08 (1.10)	1.16 (1.16)	1.49 (1.52)	35 kV 以上	95~115	420

* 直偏法による
** シェーリングブリッジによる

測定回路の漂遊容量による誤差が考えられる。また直流高圧法においては高電圧充電部のコロナ電流の介入、電源変動に伴う測定電流の急変などを十分考慮する必要がある。

3. 実布設ブチルゴム海底ケーブルの絶縁診断

海に囲まれ無数の島々のあるわが国では大正の初期よりいろいろな電力用海底ケーブルが布設されてきたが、22kV級の海底電力送電は主としてSL形紙ケーブルおよび天然ゴムケーブルによって行なわれていた。しかしながら日立電線株式会社では耐熱、耐オゾン性に加えてすぐれた耐水性を有するブチルゴムに注目し、昭和31年に初めて22kV級ブチルゴム絶縁海底ケーブルを布設したのをきっかけに昭和33年、36年、40年、42年と同様22kV級ブチルゴム絶縁海底ケーブルを納入している。そのほか3kV、6kV級ブチルゴム絶縁海底ケーブルも数多く納入布設されている。われわれはこれら重要な回路に使用されているブチルゴム絶縁海底ケーブルの絶縁監視を行なうことと、ブチルゴムの長期浸水課電による吸水劣化の経年変化を把握するという二つの目的から初期に布設したケーブルについて2~3年ごとに経年的に絶縁診断を実施している。ここでは特に昭和31年、33年に布設された22kV級ブチルゴム絶縁海底ケーブルの絶縁診断結果について述べるとともに、さきに述べた強制吸水劣化ケーブルによる絶縁劣化判定法による寿命の評価との対応性を検討した。ただし表6を22kVケーブルに適用するには絶縁厚の補正が必要である。

3.1 昭和31年布設使用22kVブチルゴム絶縁ケーブル

昭和31、33、36、38、40年の5回にわたり絶縁診断試験を実施した。さらに昭和41年に別ルートに移設するため撤去された⁽⁵⁾一部のケーブルについて工場内で詳細な特性試験を実施したのでこれらをあわせて表7、表8に示す。

表7によれば約10年間海底で使用しても絶縁抵抗値には低下は全くみられず、成極指数の低下も少なく、また $\tan \delta$ メータによる $\tan \delta$ 値も増加を示さず、前記強制劣化ケーブルによる寿命判定基準と照合しても異常な絶縁劣化の徴候はみられなかった。これをさらに裏付けるために実施した撤去試料による電気的特性も表8に示すように $\tan \delta$ の若干(布設前初期値は0.73~0.76%)の増加はあるが交流、インパルス破壊電圧の低下はみられず、現地での絶縁診断結果の寿命判定と一致した結果を表わしている。そのほか物理的特

表9 昭和33年布設ケーブルの電気的特性経年変化

項目 試験年	1,000 V メガによる絶縁抵抗 (MΩ/km)	直流高圧法 (30 kV)		tan δ (%)
		10分充電後の絶縁抵抗 (MΩ/km 20℃)	成極指数	
昭和33年	2,000 以上	9,600	9.73	* 0.7~0.8
昭和40年	2,000 以上	11,000	1.55	** 1.50

注1 絶縁抵抗の20℃換算にはJIS規定のブチルゴム温度換算係数を使用した
注2 * はシェーリングブリッジで工場内で測定した値であり、** はtan δメータにより現地測定値である。

性も測定したが経年劣化はほとんどみられなかった。なお本ケーブルはシートによるモデル実験より、絶縁体が完全に吸水飽和すると推算される20年間経過後も使用電圧の3倍($\frac{22}{\sqrt{3}} \times 3 = 38 \text{ kV}$)以上であることを目標として絶縁設計されている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。上記のように約10年間使用したケーブルの特性調査では予想以上に電気特性の低下が少なく、絶縁厚の大きさが水の拡散距離、したがって電気特性に大きく影響してくるようである。すなわち寿命的には設計時予想したより安全側にあると考えられる。

3.2 昭和33年布設使用ケーブル22kVブチルゴム絶縁ケーブル

昭和33年の布設直後に初期特性を測定してから、7年後の昭和40年に絶縁診断を実施した。その結果を表9に示す。絶縁抵抗の低下はまだ認められないが、成極指数の低下、tan δの増加がみられることから若干絶縁劣化の傾向を示している。前項で述べた昭和31年布設ケーブルに比較してこのように劣化の徴候が現われているのは負荷率が過酷であることによるものと推定される。ただし表6に示した寿命判定基準から考えても使用上問題なく、第1回の絶縁診断をしてから2年経過した現在も好調に運転されており、昭和43年には10年目の絶縁診断を実施する予定である。

以上のようにブチルゴム絶縁海底ケーブルの初期使用品について経年的な絶縁診断による絶縁監視は、当初、直流高圧法が主であったが強制劣化ケーブルについての絶縁劣化検出法検討結果からもtan δ測定が吸水劣化判定には有効であることが判明したので、昭和40年度からはtan δの測定を取り入れている。

4. 結 言

以上のように強制吸水劣化ケーブルによる絶縁劣化検出法、寿命判定法検討結果とこれらの資料をもとに実施した22kVブチルゴム絶縁海底ケーブルの現地における絶縁診断結果について述べてきたが、得られた結論を要約すると次のとおりである。

- (1) 強制吸水劣化ケーブルについての絶縁劣化検出方法の検討の結果tan δ、直流高圧法による絶縁抵抗、成極指数の絶対値の経日変化を監視することが寿命判定上有効なことが統計的に確認され、寿命判定基準の目安が得られた。
- (2) 7~10年使用の22kVブチルゴム絶縁海底ケーブルについての経年的絶縁診断では強制劣化ケーブルで得られた資料をもとに絶縁監視を続けているが、いまのところ特性上異常は認められず好調に使用されている。今後とも隔年的に絶縁診断を続けていく予定である。
- (3) 吸水劣化寿命を判定する絶縁診断方法としては特にtan δ、直流高圧が有効であることが立証されたので、今後はこれら試験の精度をさらに高めて信頼ある試験法を確立したい。

終わりに本研究を実施するに当たり種々ご協力いただいた日立電線株式会社日高工場の関係各位に対して深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) R. B. McKinley, C. H. Seaberg: G. E. Review, 55, 56 (July 1952)
- (2) 渡辺, 安井, 宮内: 電気学会関西支大 (昭 39-10)
- (3) 安井, 井上: 電気学会連大 (昭 40-4)
- (4) 川島: 電気学会連大 (昭 41-4)
- (5) 井清, 村上, 森安, 吉野: 日立評論 49, 265 (昭 42-2)
- (6) 真田, 大和, 水上: 日立評論 別-21, 8 (昭 32-12)
- (7) 潮見, 井清, 久本, 庄司, 渡辺: 日立評論 別-21, 15 (昭 32-12)

Vol. 50

日立評論

No. 8

目 次

■ 論 文

- ・原子炉圧力容器支持スカートの局部応力 (第2報) 非軸対称荷重を受ける場合
- ・13Cr 鋳鋼の溶接性 再現熱影響部の切欠靱性 (その2)
- ・直流送電用10kVサイリスタ変換装置
- ・水産庁納“開洋丸”の直流電気推進
- ・一次制御シネパルス装置
- ・半導体特性自動測定装置
- ・日立ハンディタイプ除湿機の開発

- ・Fox 形 イオン源装置の製品化
- ・超高圧パイプ形OFケーブル用絶縁油の諸特性
- ・バルブシート面応力分布の解析
- 圧延機用電気設備特集
- ・圧延機用電気品の進歩と将来の展望
- ・圧延機用電動機の進歩
- ・圧延機用サイリスタと信頼度
- ・最近の圧延機設備における制御装置
- ・計算機制御の圧延機制御への応用

発行所 日立評論社

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区丸の内1丁目4番地
振替口座東京71824番
東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
振替口座東京20018番