

# 令和4年度電気技術研修会資料

高圧ケーブルの劣化診断について

一般社団法人 中部電気管理技術者協会  
技術保安委員会

## 1. はじめに

高圧ケーブルは受電設備の引込部といった重要な箇所で使用される設備で、その重要度は受変電設備の中でもトップクラスです。故障の際には大規模停電につながる可能性も高く、また、「波及事故」の要因としても多く報告されています。中部電力管内では引込部に区分開閉器を設けない、通称「出迎え方式」と呼ばれる引込方式が選定されている需要家もあります。この場合では受電設備に受電用高圧ケーブルの保護シーケンスを持たないため、その故障は波及事故に直結します。

高圧ケーブルが故障した場合、故障部位の修理といった手法は非常に困難なことから「全交換」となるケースが殆どです。これらは管路により布設されることが一般ですが、地中埋設や建造物内といった隠蔽配管であることが多く、また、その亘長も場合によっては100mを超すようなケースもあり、その施工には多くの技能や時間を要します。つまり、故障の際には復旧も容易ではなく、場合によっては数日～数週間といった長期に渡る停電の要因になりかねません。

そんな中、近年高圧ケーブルの故障が多数報告されています。中には更新推奨時期に満たないものも多く含まれ、行政からも注意喚起が行われています。このような状況からも、高圧ケーブルの診断技術の向上・保守管理手法の高度化は急務であると言えます。

そこで、高圧ケーブルとその故障の様相、そしてその診断技術や管理手法について説明したいと思います。

## 2 高圧ケーブルについて

まずは高圧ケーブルについて説明します。

### 2.1 高圧ケーブルの構造

高圧ケーブルは一般的には CVT ケーブルが使用されています。CV とは架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル (Cross-linked polyethylene insulated Vinyl sheath cable) の略称で、これらが3本よりあわせ (Triplex) であることから、CVT と呼ばれます。絶縁体とは電気的な保護、シースとは外圧や腐食からの保護を目的とした部位となります。

CVT の構造を図 1 に示します。中央に銅製の導体があり、その周りを架橋ポリエチレン製の絶縁体で囲む形となっています。そして外周をビニル製のシースが覆っているのですが、この絶縁体とシースの間に銅製の遮蔽層 (シールド層) があります。これは静電シールドや感電防止を目的とした部位で、通常 A 種接地が施されます。

6.6kV 用 CVT の絶縁体は概ね 5mm 以下です。つまり、高圧ケーブルとは充電部と接地との距離が 5mm 以下という、他の機器では考えられないような非常にタイトな構造となっています。「たかが電線」と軽視されることが散見されますが、実際には受電設備の中で最もリスクな機器といっても過言ではないかと思えます。

【CVケーブル断面図】

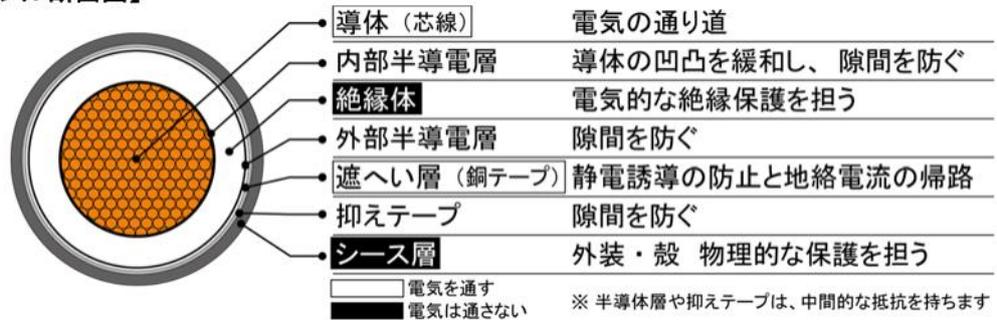


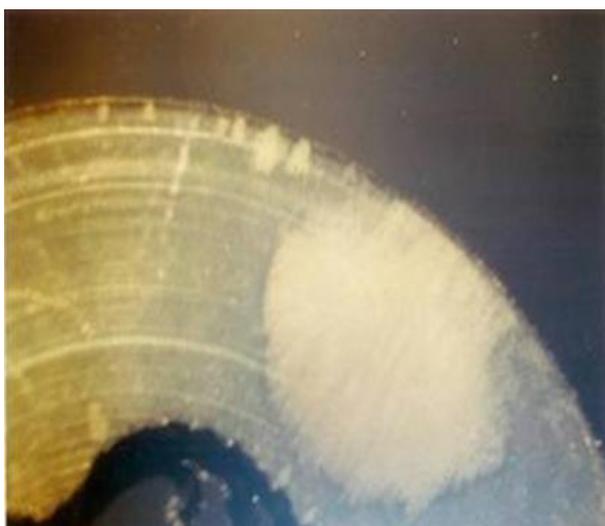
図 1 CV ケーブル断面図

## 2.2 高圧ケーブルの故障

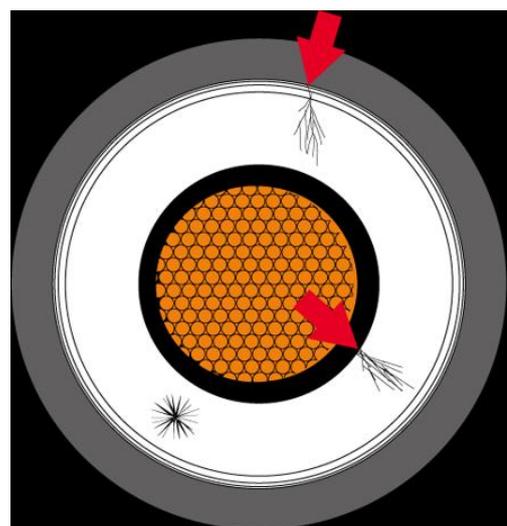
絶縁体として使用されている架橋ポリエチレンは、電気的特性および耐熱性に優れ、また、軽量で可とう性もよく、柔軟性、耐久性にも優れています。図 1 よりその周囲は半導電層で覆われており、耐食性についても十分に保護されています。

しかし、水分や紫外線に対して脆弱な面もあります。また、5mm 以下という薄さからも、微少な異常が故障につながる恐れがあります。半導電層で密封する構造であっても、水分等が混入した場合には、電界の影響も加わり微少な亀裂が生じることがあります。このような劣化の様相を、通称「水トリー」と呼びます。図 2 に高圧ケーブルに発生した水トリーを示します。

高圧ケーブルの故障モードは複数ありますが、この水トリーこそが主であると言っても過言ではありません。



(a) 水トリー



(b) イメージ図

図 2 高圧ケーブルに発生した水トリー

### 3. 高圧ケーブルの診断

このように高圧ケーブルは他の機器とは少し異なる診断が必要となります。

#### 3.1 水トリー

高圧ケーブルの診断の主体は、やはり絶縁体の異常の有無、つまり水トリーの有無を確認することが最も重要となります。

絶縁体の性能調査手法としては、絶縁抵抗計による絶縁抵抗の管理が一般的とは思いますが、他の高圧機器においては 1,000V メガーによる絶縁抵抗測定が主として行われていますが、水トリーの有無の確認については、これらの方法では困難です。

##### (1) 高圧ケーブルの絶縁体に求められる絶縁抵抗値

上述したように、絶縁体はその形状からも微少な異常であっても故障につながる恐れがあります。このような状況からも、高圧受電設備規定では絶縁抵抗の判定目安を 5,000V で 5,000M $\Omega$ 、10,000V で 10,000M $\Omega$  と紹介しており、良と判定するにはかなり大きな値が必要とされています。つまり、1,000V メガーでは良否判定はできません。

##### (2) 水トリーの電気的特性

水トリーは図 2 のように微少な亀裂のようなものです。この亀裂がシールド層から導体まで到達することを橋絡もしくは橋絡水トリーと呼びます。

水トリーは極微少なもので、橋絡水トリーが発生してもただちに絶縁が破壊されるわけではありません。図 3 に試材として作成した橋絡水トリーモデルの直流電圧に対する V-I 特性（電圧-電流特性）を示します。また、図 4 にこの試材が絶縁破壊に至った際の地絡電流波形を示します。このように、これらはギャップに見られるような非線形抵抗のような特性を示します。つまり、オームの法則には従わず、印加される電圧の大きさにより抵抗値・電流値が変化します。また、これらは特定の電圧値より急激に変化する様子が伺えます。したがって、絶縁抵抗値で管理することは非常に難しいと言えます。

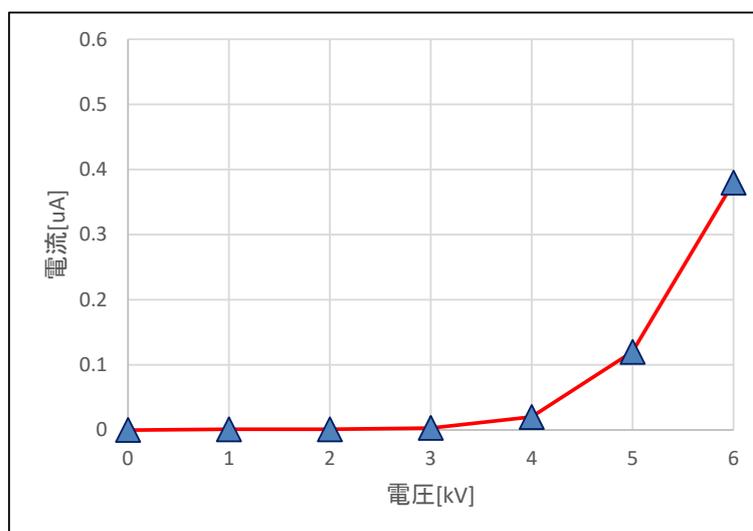


図 3 試作した水トリーモデルの V-I 特性

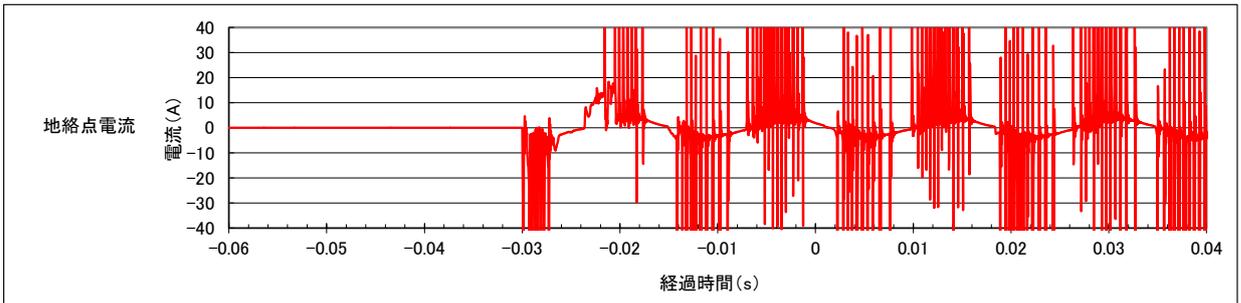


図4 絶縁破壊した水トリーモデルに流れる電流

### 3.2 診断手法

高圧ケーブルの診断手法は色々ありますが、その中で代表的なのが高圧電気設備規定で紹介されている G 端子接地方式による直流漏れ電流測定法です。ここでは、その測定方法について説明します。

#### (1) G 端子接地方式とは

高圧ケーブルの絶縁体の性能評価・水トリーの有無の確認ですので、導体とシールド層の間の絶縁性能を調査します。しかし、導体は他の多くの機器と接続されており、また、シールド層は接地されているため、その単体調査は容易ではありません。水トリーは電気的には非常に小さな変化であるため、その調査には高い精度が求められます。

図5にG端子接地方式による測定回路例を示します。この方式では、シールド層の接地を取り外し導体とシールド層の間に電圧を印加すること、その測定対象を高圧ケーブルの絶縁体  $R_c$  のみに絞ります。また、外した接地線を G 端子に接続することにより、導体に接続された他の機器の絶縁抵抗  $R_n$  を経由して地面に流れた電流を測定対象から除外します。このような回路により、高圧ケーブル本体を切り離すことなく、絶縁体単体の評価を可能とします。

なお、G端子接地方式を行うには、それに対応した測定器を準備する必要があります。一般の絶縁抵抗計ではG端子が存在しないため適応できません。

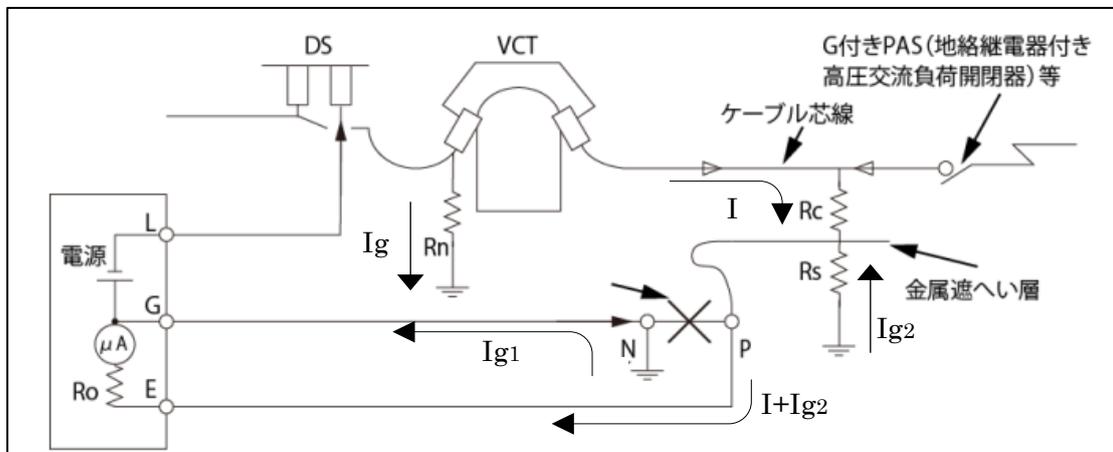


図5 G端子接地方式による測定回路例

## (2) 直流漏れ電流測定の評価項目

図 5 において、ケーブルの絶縁体  $R_c$  を通過して E 端子に流れる電流を直流漏れ電流と呼び、その電流を測定して評価を行います。試験条件、評価項目および、判定基準を説明します。

### ①測定電圧

高圧受電設備規定で紹介されている一般的な測定電圧（定格電圧 6,600V 時）を表 1 に示します。漏れ電流測定ではこのように 2 段階の電圧で測定をします。まずは第 1 ステップの電圧で規定時間測定し、劣化の兆候がなければ第 2 ステップの測定を行う事となっています。ただし、布設年数によっては測定電圧を考慮する必要があるとされています。

表 1 直流漏れ電流測定時の測定電圧

測定電圧		測定時間
第1ステップ	第2ステップ	
6kV	10kV	5~10分

### ②評価項目および評価基準

高圧受電設備規定で紹介されている評価項目は以下の通りです。

(a) 漏れ電流値[ $\mu\text{A}$ ] : 電圧印加時間の最終電流値

(ただし、ケーブル互長が 1km を超える場合は km 単位換算すること。)

(b) 成極比 =  $\frac{\text{電圧印加 1 分後の電流}}{\text{電圧印加後規定時間の電流}}$

(c) 弱点比 =  $\frac{\text{第 1 ステップ電圧の絶縁抵抗値}}{\text{第 2 ステップ電圧の絶縁抵抗値}}$

(d) キック現象 : 電流-時間特性上の電流の急激な変動

ただし、初期の橋絡水トリーの特性は様々である事と、G 端子接地方式においても外部の影響を完全に無視することは難しく、結果としてこれらの判定基準を設けるのは非常に困難とされています。ここでは、(一社) 日本電線工業会で紹介されている判定の目安値および判定基準例を整理して以下にまとめます。

<判定の目安>

- ・漏れ電流値が 0.1 $\mu\text{A}$  以上であるもの
- ・漏れ電流が時間とともに増加するもの
- ・漏れ電流チャートでキック現象が見られるもの
- ・印加電圧を上げると漏れ電流値が急増するもの。

表 2 直流漏れ電流測定における判定基準例

項目	良好		要注意
漏れ電流値	0.1 $\mu$ A未満	0.1 $\mu$ A以上～1.0 $\mu$ A未満	1.0 $\mu$ A以上
成極比	1.5以上	1.0超過～1.5未満	1.0以下
弱点比	1.0以下	1.0超過～2.0以下	2.0超過
キック現象	現象なし		現象あり

### 3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

直流漏れ電流測定を実施する際の注意事項・留意事項について説明します

#### (1) 測定準備

まずは図 5 に沿って測定回路の構築および測定器のセットを行います。

G 端子接地方式では、高圧ケーブルのシールド層を接地線から外します。ここで注意が必要です。

高圧ケーブルのシールド接地は、図 6 のようにケーブルヘッドを固定するケーブルブラケットの接地端子にビス止めされていることが一般的です。この接地端子ビスですが黄銅（真鍮）製のものが殆どで、材質としては非常に柔らかいものとなります。したがって、サイズの小さなドライバーを使えば簡単にネジ溝を潰してしまいがちです。ネジ溝を潰せば復旧後の締め付け不良の原因となりかねませんので、必ずサイズの合ったドライバー（3 番）を準備しましょう。また、強く締め付けるとビスが折れてしまうこともありますので、締め付け力もまた注意が必要です。

外した接地線は G 端子と接続することになりますが、これは他の機器の絶縁抵抗  $R_c$  を通じて接地側に流れた電流を漏れ電流に含まないようにバイパスする目的以外に、試験回路を接地するという意味もあります。試験回路に接地がなければ大地間に充電された電荷の放電経路がないことから、結果的に試験者の感電につながる恐れがあります。高圧ケーブルを他の機器から切り離して測定する時等ではバイパスの必要性も低く思われがちですが、事故防止の観点からも確実に接続する必要があります。



図 6 ケーブルブラケット

## (2) シース絶縁抵抗測定

準備が終われば、まずはシースの絶縁抵抗を測定します。具体的には、接地から取り外したシールド層と接地間の絶縁抵抗を測定します。このシース絶縁抵抗の測定は以下の 2 つの目的があります。

### ① 高圧ケーブルの外傷の有無の確認

高圧ケーブルのシースは外圧や腐食からの保護を目的とした物で、絶縁性能は特に求められてはいません。しかし、ビニル製であるため、竣工時であれば数百  $M\Omega$  程度は十分に有していると思います。

高圧電気設備規定では、シース絶縁抵抗は 250V もしくは 500V メガーにて  $1M\Omega$  以上を良としています。ここでは、 $1M\Omega$  未満であればシースがどこかで傷ついている、つまり、高圧ケーブルに外傷がある可能性があるかと判断します。ただし、ケーブル端末部の汚損や湿潤等の可能性もありますので、まずは両端末部の目視等による状態確認をおこないます。

また、高圧ケーブルが架空布設等でシースが接地と大きく離れている場合は、外傷があっても当然絶縁抵抗値には現れませんので、注意が必要です。

### ② G 端子方式の測定精度

図 5 より、他の機器の絶縁体  $R_n$  を通過した電流  $I_g$  は、接地から接続点 N を通過して G 端子より電源に回帰する電流  $I_{g1}$  と、シース絶縁抵抗  $R_s$  を通過して接続点 P より E 端子から測定器の内部抵抗  $R_o$  を経由して電流計を通過する計測電流  $I_{g2}$  に分流します。ここで、 $I_{g2}$  の大きさが測定誤差に直結します。したがって、測定精度を保つためには  $R_s$  が  $R_o$  より十分小さくしなければなりません。

$R_o$  には特に規格等はなく、 $R_s$  の判定基準は使用する機種毎に行う必要があります。ちなみにムサシインテック製の DI-11N では  $R_o$  は  $10k\Omega$  とのことで、 $R_s$  がその 100 倍の  $1M\Omega$  あれば分流比は 1 : 100 となり、その測定精度は 99% となることから必要十分であるとされています。

## (3) 測定電圧

測定電圧は基本的には表 1 の通りとなりますが、布設年数によっては測定電圧を考慮する必要があるとされています。ここでは、測定電圧について考えてみます。

上述したように、直流漏れ電流測定の主目的は橋絡水トリーの有無を確認することです。

本来、純粋な抵抗であれば測定電圧によって結果が変わることはありません。しかし、図 3 のように橋絡水トリーは非線形特性を示し、ある特定の電圧から抵抗値が一気に低下します。

つまり、橋絡水トリーの有無を確認するというのは、この非線形となる要素があるか、電圧によって変化点があるかを探ることになります。

それでは、これらを何 V まで探る必要があるか？ということを考えてみます。当然、必要以上に高い電圧領域まで探る必要性はありません。

ここで、運転時において高圧ケーブルの絶縁体にはどのような電圧が加わるかを整理してみます。これらは概ね以下の 4 つに分類できます。

- (a) 通常運転時の常規対地電圧 :  $6.9 / \sqrt{3} \doteq 4.0$  [kV] 波高値 : 約 5.7 [kV]  
継続時間 : 常時
- (b) 同一バンク内で一線地絡故障が発生した場合の対地電圧 : 6.9 [kV] 波高値 : 約 9.8 [kV]  
継続時間 : 0.3s~1.0[s]
- (c) 開閉器や遮断器の開閉により発生する開閉サージ : 常規対地電圧の 2~3 倍程度 約 11 ~16[kV]  
継続時間 : 数十[ms]
- (d) 落雷による雷過電圧 : LA の制限電圧 約 20 [kV]  
継続時間 : 数百[ $\mu$ s]

(c)と(d)については、非常に短い時間となることから、これらによる影響評価は V-t 特性ま G 端子とので考慮すべきかもしれません。しかし(a)と(b)は比較的長い時間で、これらについてはしっかりフォローしておくべきとも思えます。また、これらの電圧値を見ると、表 1 の各ステップ電圧とほぼ一致します。

したがって、運転している高圧ケーブルであれば、理想的には表 1 がベストと考えられます。逆に、10kV 未満で止めてしまえば(b)のようなケースでのリスクを診断しないということになります。

なお、竣工検査においてはこの全てのモードについてフォローできていることになります。

#### (4) 測定開始・電圧の印加

表 1 の電圧で測定することになりますが、いきなり印加すべきではありません。橋絡水トリーが発生している場合では図 3 に見られるような V-I 特性を持ち、その電圧によっては短絡電流に近い電流が水トリーを通過し、そのジュール熱により絶縁破壊に至る恐れがあります。

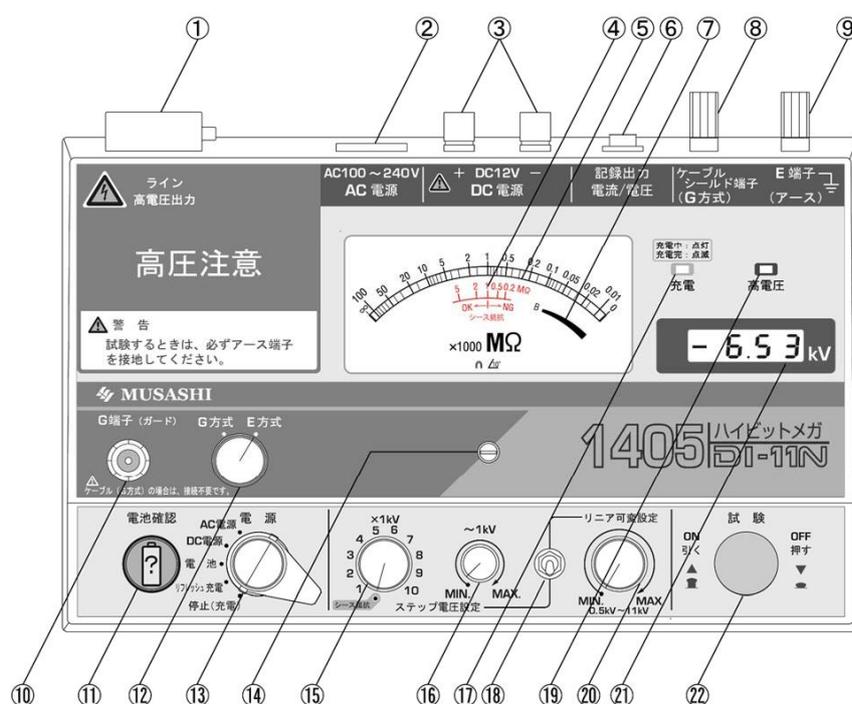
繰り返しますが、直流漏れ電流測定の主目的は橋絡水トリーの有無を確認することです。一般に、異常の無い絶縁体であれば印加する電圧にかかわらず流れる電流は 1nA 以下とも言われています。これは現場では測定できない領域です。そして、橋絡水トリーがあれば概ね  $0.1 \mu A$  以上の電流が流れると言われています。

このようなことから、橋絡水トリーを確認するのであれば、高圧ケーブルに電圧を徐々に、もしくは段階的に印加し、漏れ電流が  $0.1 \mu A$  を超えるようなポイント・電圧値が無いか探すことが大事であると思われまます。

高圧ケーブルの絶縁体は 5mm 以下と非常に薄いことから比較的大きな静電容量を持ちます。したがって、Rc には並列に静電容量があるため、電源印加時には充電電流が流れます。ただし、これらは充電が終われば治まります。

図 7 に G 端子接地方式が可能な測定器（ムサシインテック製：DI-11N）および電圧設定手順を示します。この機種では、出力電圧をステップ単位（1kV 単位）またはリニアに可変できます。例えば、第 1 ステップである 6kV を印加する場合、いきなり 6kV にあわせるのではなく、まずは 0V から少し昇圧してみます。すると充電電流が流れるため、電流計（絶縁抵抗計）が振れることとなりますが、異常が無ければ漏れ電流は流れないため、時間と共に電流計の値は下がり、そして 0 になります。0 になったことを確認したら、また少し昇圧させます。そして、昇圧と充電電流の流出・収束を繰り返し、目標である第 1 ステップの電圧到達までに電流が治まらない点、つまり、V-I 特性の変化点が無いか確認することで、異常の有無をリニアに監視すると共に、測定による絶縁破壊のリスクを低減します。

第 1 ステップ電圧に到達したら一度電圧を落とし、0V から一気に第 1 ステップ電圧を印加して、その後の電流の推移を記録します。



＜ステップ電圧設定を使った電圧設定手順＞

- ・ ⑮のダイヤルを 1kV に合わせます。
- ・ ⑳の試験ボタンを引き、電圧を出力します。
- ・ ㉑の表示が-1kV と表示されていることを確認します。
- ・ ⑤の絶縁抵抗計の針が一気に右に振れます。その後、ゆっくり左に戻ってきます。
- ・ ⑤の絶縁抵抗計の針が一番左に戻ったことを確認します。  
(戻らない・振動するといった場合には試験中断)
- ・ ⑮のダイヤルを 2kV に合わせます。
- ・ 第 1 ステップ電圧である 6kV になるまでこれらを繰り返します。
- ・ 6kV に到達したら、㉑の試験ボタンを押し、電圧を 0V にします。
- ・ 記録計を設定し㉑の試験ボタンを引き、第 1 ステップ電圧での漏れ電流測定を開始します。

図 7 測定器と電圧設定手順

### (5) 漏れ電流の記録・診断

所定の電圧を 0V から一気に印加し、5～10 分間の電流値の推移をレコーダで記録します。開始時には大きな充電電流が流れ、時間と共に減少し、最終的には漏れ電流のみとなります。その評価項目および基準は 3.2(2)②の内容となります。

#### (a) 漏れ電流値[ $\mu\text{A}$ ] : 電圧印加時間の最終電流値

基本的にはこの値が  $0.1\mu\text{A}$  以上であれば、橋絡水トリーが存在する可能性が非常に高いこととなります。ただし、ケーブル端末部の汚損や湿潤等の可能性もありますので注意が必要です。また、線路互長が長い場合には継続して流れる電流が若干発生する場合があります。なお、互長が 1km を超える場合は km あたりの値に換算する必要があります。

#### (b) 成極比 = $\frac{\text{電圧印加 1 分後の電流}}{\text{電圧印加後規定時間の電流}}$

微少な橋絡水トリーが存在している場合、直流電圧を長時間印加すると漏れ電流が少しずつ増加するようなケースが見られる場合があります。図 8 に実際の高圧ケーブルにおける電流測定結果を示します。

この時、第 1 ステップ電圧である 6kV までの電圧整定時には漏れ電流の発生は確認できませんでした。第 1 ステップ電圧を印加し、漏れ電流の 1 分値は  $0.03\mu\text{A}$  で問題ありませんでしたが、その後じわじわと増加し、4 分頃には大きく増加して約  $0.8\mu\text{A}$ 、規定時間である 5 分値では  $0.5\mu\text{A}$  となりました。このような推移を漸増現象と呼びます。

橋絡水トリー内で放電が生じると、内部の状況や電界強度の変化により相対的な電気抵抗が低下するケースがあることが確認されています。このような状況下では測定開始後の一定時間経過後より漏れ電流が斬増するというような状況となる場合があります。したがって、成極比の定義に拘るよりも、測定中の漏れ電流の推移をレコーダで精度良く計測し、斬増等の変化がないか確認することが重要と思われれます。

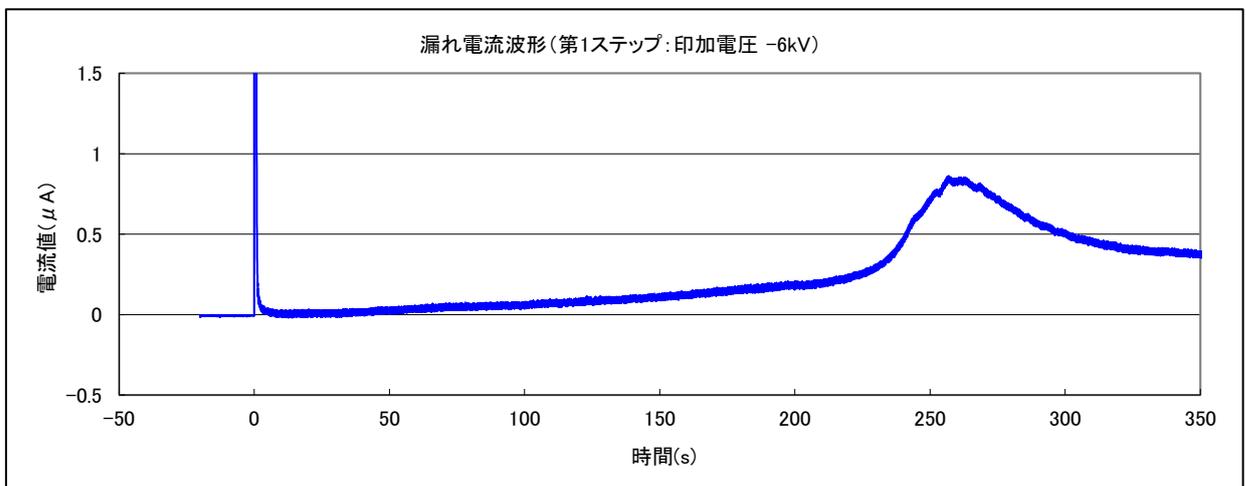


図 8 異常が確認された高圧ケーブルの漏れ電流測定結果 (印加電圧: -6kV 漏れ電流に斬増)

$$(c) \text{ 弱点比} = \frac{\text{第 1 ステップ電圧の絶縁抵抗値}}{\text{第 2 ステップ電圧の絶縁抵抗値}}$$

弱点比は漏れ電流値ではなく絶縁抵抗値で定義されています。しかし、絶縁体が健全であればその絶縁抵抗値は非常に大きく、また、基本的には橋絡水トリーが存在しなければ漏れ電流は計測されません。したがって、ケーブル互長が非常に長い、シース絶縁抵抗値が低めというような状況でもなければ、弱点比については着目する必要性はさほど大きくはないかもしれません。

(d) キック現象：電流－時間特性上の電流の急激な変動

橋絡水トリーに大きな電圧を印加すると内部で放電現象が生じ、その結果漏れ電流が急激に変動します。図 9 に実際の高圧ケーブルにおける電流測定結果を示します。なお、これは図 8 の高圧ケーブルに 10kV を印加した時のものです。

図 8 では電圧印加時に発生した充電電流がすぐに消滅していますが、図 9 ではその過程において振動が発生し、それを繰り返しながら少しずつ減少していることが確認できます。また、しばらくすると落ち着いて、緩やかに減少して安定する様子が伺えます。電流の大きさは、振動時には  $3\mu\text{A}$  前後ですが、振動が治まった後の 5 分値では  $0.6\mu\text{A}$  と、6kV 印加時とほぼ同様の値にまで下がっています。

なお、この測定時では、電圧制定時には 10kV の時点で充電電流がなかなか治まらない様子が確認されてはいました。もしこれらが 10kV 到達前に確認されていたのであれば、それ以上の電圧を印加することは絶縁破壊につながるおそれがあるため、このような波形を取るまでもなく、その時点で判定否として測定を中止することが好ましいと思われます。

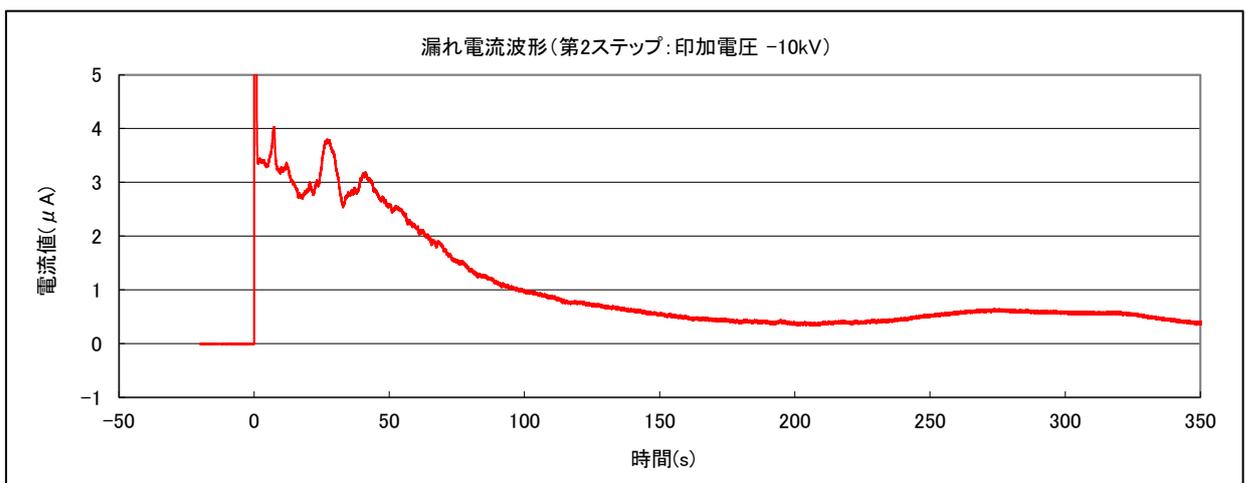


図 9 異常が確認された高圧ケーブルの漏れ電流測定結果（印加電圧：-10kV 漏れ電流にキック

## (6) 測定終了後

高電圧を印加していることから、測定終了時には高圧ケーブルに大きな電荷が充電されており、感電の恐れがあることから測定後には速やかに放電する必要があります。最近の測定器であれば放電抵抗を内蔵しているものが多く、出力を止めれば（SW を切る）放電回路に接続され、測定器内部で放電・消費されます。

高圧ケーブルに蓄えられた電荷が放電するまでの時間  $t$  は次式で計算できます。

$$t = C \times R \times \ln\left(\frac{V_h}{V_l}\right) \quad \dots (1.1)$$

ここで、 $C$  : 高圧ケーブルの静電容量、 $R$  : 放電抵抗  $V_h$  : 印加電圧  $V_l$  : 放電後の電圧

したがって、放電に要する時間は高圧ケーブルの長さ、印加電圧、そして測定器の放電抵抗の値で決まるため、その時間は様々ということになります。ちなみにムサシインテック製 DI-11N では放電抵抗が  $5M\Omega$  とのことで、CVT38-100m に  $10kV$  を印加した場合、その放電 ( $V_l$  :  $1V$  未満) には  $5$  秒程度かかります。比較的長時間となることもありますので、測定終了後は SW を切ってしばらく放置するようなイメージで作業をされるとよいと思います。

なお、3.3(1)で説明したように、G 端子を正しく接地できていないと測定器の放電抵抗では全ての電荷を放電できない可能性がありますので、注意が必要です。また、このような場合も想定し、別途放電抵抗付の接地棒を用意し、測定終了後は対地間において接地棒で接地することもよいかもしれません。他にも、電荷の放電が可能な直流検電器もありますので、最終的には検電と放電をセットで行うというのもよいかもしれません。

接地棒を使用する際には、必ず放電抵抗が組み込まれた物を使用して下さい。放電抵抗がなく直接接地するような状況で放電した場合、大きな放電音と同時にサージ電圧が発生する可能性があります。これらは高圧ケーブルに伝搬することとなり、結果的に橋絡水トリーに余計なストレスを与えるようなこととなれば本末転倒と言えます。

## (7) まとめ

直流漏れ電流測定で一番大事なことは、 $10kV$  までの間に  $0.1\mu A$  以上流れるポイントが無いかチェックすることです。これを指標化するために色々と評価項目が設けられていますが、そこに捕らわれすぎないように注意が必要です。大切なのは印加電圧と漏れ電流推移、 $V-I$  特性の変化の確認です。

また、非常に高い電圧を印加することからも、試験での絶縁破壊を恐れる方も少なくありません。高圧電気設備規定でも布設年数によって測定電圧に考慮とあります。しかし、例えば測定電圧を  $5kV$  に下げてしまえば…今回紹介した図 8～図 9 の高圧ケーブルであれば、その判定は「良」となっていたのではないのでしょうか。

なお、水トリーにおける直流破壊電圧と商用周波数破壊電圧の比(DC/AC)は  $2\sim 4$  倍程度とされています。つまり、使用中の高圧ケーブルであれば、常規対地電圧の  $2$  倍・ $8kV$  程度まではその破壊の可能性は比較的小さいとも考えられます。逆に、 $8kV$  未満での測定では故障寸前まで異変を確認できないかもしれません。

漏れ電流測定にて橋絡水トリーを確認するということは、橋絡水トリーに電流が通過することの確認とも言えます。したがって、橋絡水トリーには少なからず影響を与えることにはなるかもしれませんが、しかし、これらが即絶縁破壊につながるというわけではありません。

橋絡水トリーに与える影響の大きさは、主として測定器の出力電流で決まります。図 10 にムサシインテック製 DI-11N の垂下特性図を示します。この測定器では測定対象の抵抗値が低い際には電圧が低下し、約  $100\mu\text{A}$  の定電流特性となることが読み取れます。一般の絶縁抵抗計の定格電流は JIS により  $1\text{mA}$  以上とされており、 $1/10$  程度であることから絶縁破壊のリスクは大きく低減されます。このように、測定対象に負担をかけにくい機種を選ぶこともまた大切かもしれません。しかし、垂下特性が大きすぎると対象物の絶縁抵抗値が小さい場合には規定の電圧が出力されない可能性もあります。このような機種を使用する場合は、漏れ電流を記録する際に試験電圧値も合わせて記録するとよいかもしれません。

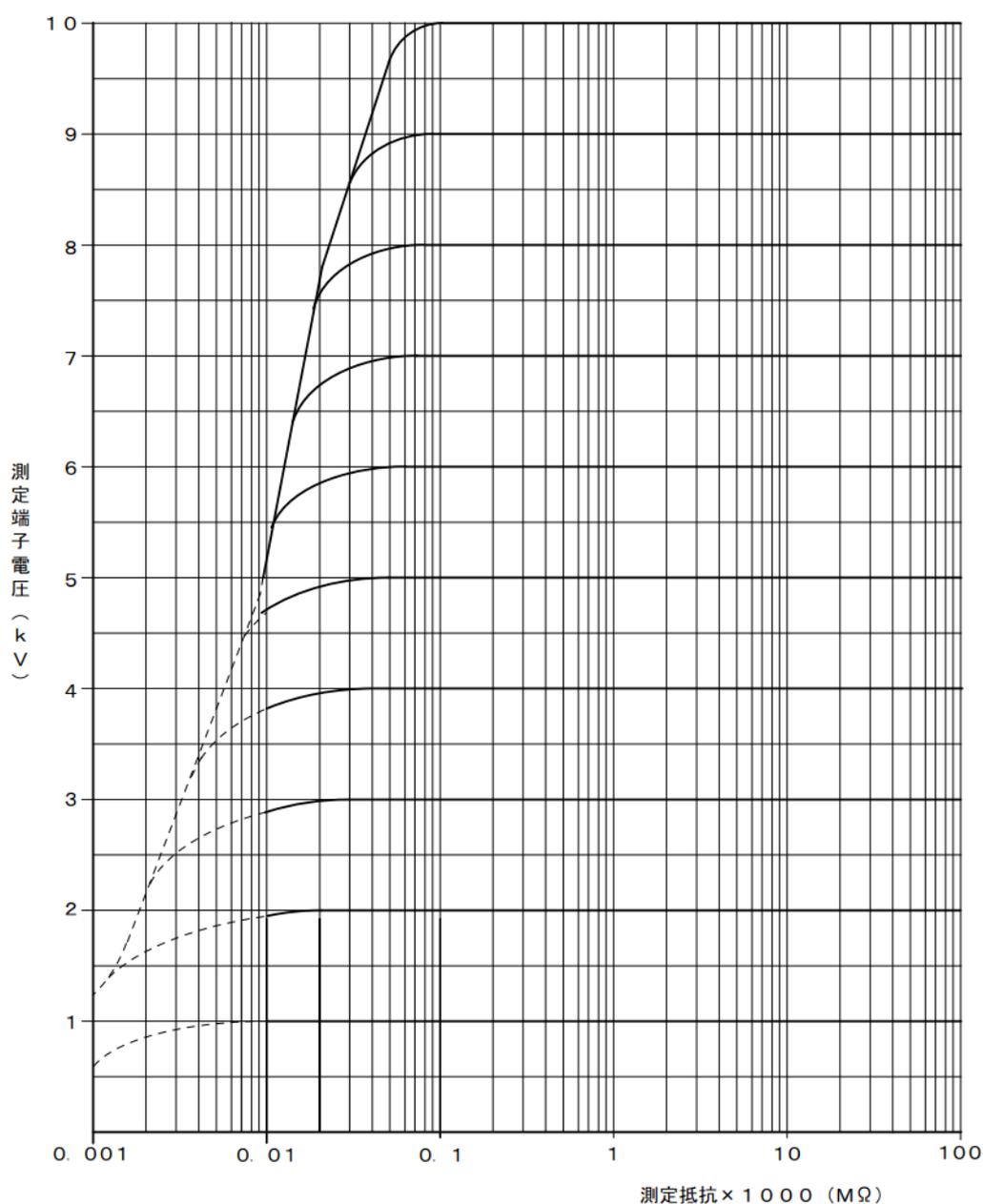


図 10 絶縁抵抗計の設定電圧に対する測定端子の電圧出力特性（垂下特性）

#### 4. 高圧ケーブルの管理について

水トリーは水分の混入により生じます。では、水分は高圧ケーブル内にどのようにして混入するのでしょうか。

以前は工場での製造過程において混入するケースが多かったようですが、製造方法やケーブルの構造・材料の進化により、今では殆どみられなくなったようです。つまり、水分の混入は出荷後が主となります。ここで、水分の混入経路とそのチェックポイントを簡単にまとめてみます。

##### (1) 端末部経年劣化

CVT のビニル製シースは非常に丈夫ではあるのですが、長期間の使用においてシュリンクバック現象と呼ばれる収縮作用が働くことがあります。これがケーブル端末部で発生すると、端末処理部とシースの間に隙間ができ、そこから水分が侵入します。なお、これらは CVT よりも EM-CET (エコケーブル) のポリエチレン製シースで多く見られるようです。

他にも、オゾン等の原因により端末部のテープ類・ゴム類が変形して隙間ができ、そこから水分が侵入するケースもあります。

##### <チェックポイント>

- ・ 端末部の目視点検、放電雑音測定の実施。ストレスコーン最下部を注視。
- ・ 柱上のケーブル端末は双眼鏡等を使って定期的に監視を。テープが解けているようなケースは要注意。

##### (2) 外傷

シースに外傷が発生した場合にはケーブル内部に水分が混入する可能性は非常に高くなります。外傷は以下のような場合に発生する可能性があります。

- ・ 施工時に傷つけてしまっていた。(擦れ、引っ掛け、管路に異物…等)
- ・ 強い曲げによるストレス。(EM-CET は許容曲げ半径が大きいので要注意)
- ・ その他外圧 (掘削、異物の衝突…等)

なお、完全に外傷とならなくとも、多少の水分の透過がみられることもあるようです。

ただし、E-Eタイプ (図1の外部半導電層が押し出しタイプで隙間がないタイプ) であれば外傷が発生しても絶縁体までの浸水はほぼ発生しません。

##### <チェックポイント>

- ・ 定期的なシース絶縁抵抗測定を。できればこの項目だけでも毎年実施を。

##### (3) 流通経路

高圧ケーブルは両端に防水キャップを自己融着テープで固定した状態で出荷されます。

しかし、これらが流通経路で外されてしまうケースもあるようです。例えば、商社等が長尺で購入し、注文時応じて自社で切断、販売といった形がとられるようなこともあるようです。この場合、切断部にテープ処理等を行うことが一般的なようですが、これらにどの程度

防水効果があるか不明です。また、長尺で購入した高圧ケーブルもどのような環境で保存されているかはわかりません。

<チェックポイント>

- ・高圧ケーブル納入の際には先端に防水キャップが取り付けられているか、また、それらが自己融着テープで固定されているか。

#### (4) 施工時のケーブル断面からの侵入

高圧ケーブルを電線管に通線する場合、防水キャップが邪魔になりがちです。外してしまえば施工は楽になりますが、水分混入のリスクが高まります。

電線管も地中埋設等であれば内部に水が溜まっている可能性は高まります。ハンドホール等で中継している場合も同様です。リニューアル等で古い電線管を再利用するような場合は、水の中に通線するようなものと考えても大げさではないかもしれません。

また、端末施工時には絶縁体が露出されます。雨天時に屋外で行えば水分の混入は避けられないかもしれません。

<チェックポイント>

- ・高圧ケーブル布設時には先端に防水キャップが取り付けられているか。
- ・通線前に電線管にウエス等を通して使って浸水チェックを。
- ・雨天時の工事は要注意。雨水だけでなく湿気にも注意。可能であれば延期を。

#### (5) まとめ

水分の混入は、現在では可能性としては施工時が一番高いように思えます。しかし、施工上やむを得ない、避けられない場合も少なくないかもしれません。特に休日を利用した張替工事等では時間的にもタイトで、工事を開始してしまっただけ以上は時間内に必ず完了させ復電しなければならず、変更・中断・中止は不可といったケースも少なくないでしょう。

このような場合は施工環境を記録すると共に、ケーブル故障のリスク高としてケーブル診断等を強化するような管理を考える事が好ましいかもしれません。

## 5. おわりに

昨今の高圧ケーブルをとりまく環境より、その診断や管理手法について様々な議論が交わされています。しかし、高圧ケーブルの劣化やその診断技術については水トリー現象そのものや測定原理の解説書が多く、現場サイドでの具体的な説明はあまりみかけませんでした。

このような状況からも現場での測定技術や注意点に焦点を当て、具体的にどのように考えればいいのか、何に気をつければいいのかという点をまとめてみました。また、高圧ケーブルの故障モードやその診断手法は他にも様々なものがありますが、故障モードとしては最も多い水トリー現象、診断手法としては最もポピュラーで信頼性の高い G 端子接地方式による直流漏れ電流測定の方に言及し、その内容を掘り下げてみました。これらが高圧ケーブルやその診断方法・管理手法に関する理解の一助となれば幸いです。

## <まとめ>

- 高圧ケーブルは非常に重要な部分に使用されている。  
故障すれば大規模停電に  
波及事故につながる可能性大
- 高圧ケーブルは非常にタイトな構造である。  
絶縁体の厚みが **5mm** 以下で、微少な異変が故障につながる恐れあり
- 高圧ケーブルの主な故障要因は水トリー  
内部に水分が侵入すると絶縁体に亀裂が入りやすくなる
- 主要な診断方法は G 端子接地方式による直流漏れ電流測定  
水トリーは非線形特性を持つため、絶縁抵抗の管理では不十分
- 直流漏れ電流測定で確認すべきは、電圧-電流特性の変化点の有無  
水トリーがなければ、漏れ電流は **1nA** 以下  
橋絡水トリーがあれば、漏れ電流は **0.1  $\mu$  A** 以上  
0~10kV の間で、漏れ電流が **0.1  $\mu$  A** を超えるようなポイントが無いか調査  
規定電圧印加で **5~10** 分電流の推移を確認、キックや変動は無いか  
ケーブル端末の汚損や異常、シース絶縁抵抗の低下は誤判断の要因に
- 測定での高電圧印加は絶縁破壊の恐れも  
電圧は電流計を見ながら少しずつ上昇させる  
電圧上昇→充電電流発生→時間と共に減少→漏れ電流 0 に→電圧上昇→  
大きな漏れ電流・キックの発生が確認されたら判定否で測定終了  
垂下特性の大きな測定器の採用を
- 水分の侵入防止管理も  
定期点検では端末部の異変の有無を目視で確認  
年次点検ではシース絶縁抵抗測定にて外傷のチェックを
- 水分の侵入は施工中も可能性あり  
施工完了まで断面の防水キャップは外さない  
施工時の天候・湿度は要注意  
やむを得ずタフな環境で施工をした場合には、その後の管理の強化を