

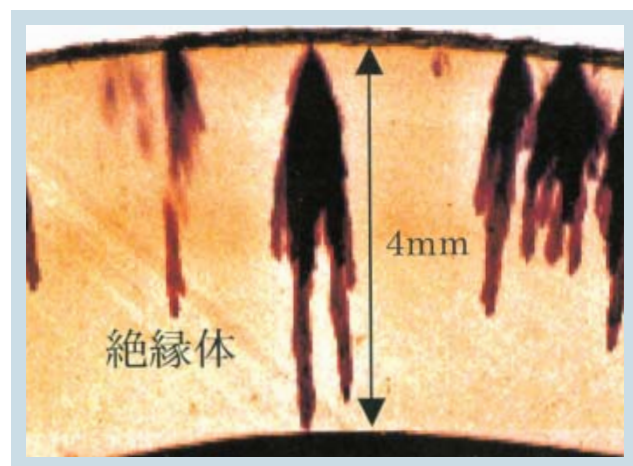
地中送配電設備診断技術の開発

大都市部においては、土地取得が困難な点や美観を配慮して、送電線や配電線の地中ケーブル化が行われております。国内にて主流のCVケーブル（架橋ポリエチレン絶縁塩化ビニルシースケーブル）は、世界に先駆けて1960年頃より日本において開発・実用化され、現在では500kVまで使用されています。このCVケーブルの設計寿命は30年とされていますが、近年では設計寿命を越えて更新期を迎えるケーブルが増加しつつあります。そこで、トラブルを未然に防ぎつつ計画的な更新を行うために、劣化状態を定量的に把握する診断技術が必要となっておりまして。ここでは、これまでに当社で開発したCVケーブルをはじめとした地中線関連設備の劣化診断技術を紹介いたします。

CVケーブル劣化診断技術の開発

1 CVケーブルの劣化について

CVケーブルの要因別故障件数は、77kV以下では水トリー劣化によるものが多くを占めています。水トリー劣化とは、水が外部から侵入しやすい地中布設状態で長期間使用すると絶縁体内に発生する樹枝状の劣化です。水トリーの写真を第1図に示します。水トリーは時間とともに成長を続けて、最終的には絶縁破壊を引き起こします。



第1図 CVケーブルの絶縁体に発生した水トリー

高圧ケーブルにおいては、水トリーが第1図のように絶縁体を橋絡（貫通）しても運転電圧で直ちに絶縁破壊が生じることはなく、橋絡後の余寿命は数年程度とされています。一方、特別高圧ケーブルにおいては、33kV級では橋絡水トリー発生直後が直前、77kV級では未橋絡の状態です。そこで、健全性を確認するための診断技術としては、高圧ケーブルでは橋絡水トリーを検出する技術、ま

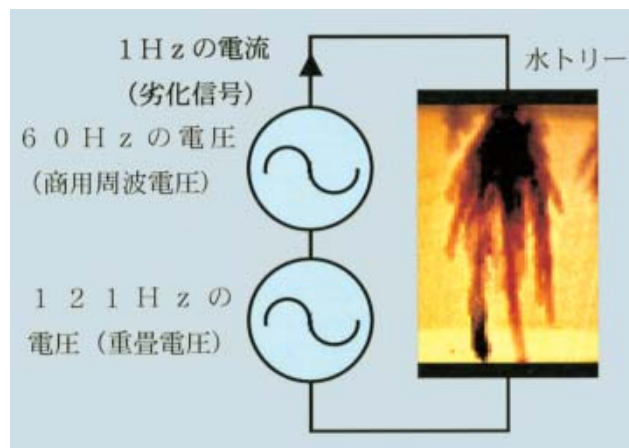
た特別高圧ケーブルでは非橋絡水トリーを検出する技術が要求されます。

2 高圧ケーブル用診断技術

従来、高圧ケーブルでは、定期的な送電を停止して直流漏れ電流測定による劣化診断を行い、停電故障を未然に防いできました。しかし、近年では送電を停止することが益々難しい状況にあるほか、電力を逆送するための手続きや現場作業が診断のコストアップ要因になっていることから、水トリーを無停電で検出する活線劣化診断が望まれていました。こうした背景から当社では矢崎電線株式会社との共同研究により、実験による新しい診断原理の探求や理論的な裏付け、さらに診断装置の開発・実用化を進めてきました。既に“交流重畳法”と称する非常にユニークな活線劣化診断法を考案し、これを基本原理とする診断装置を商品化しています。

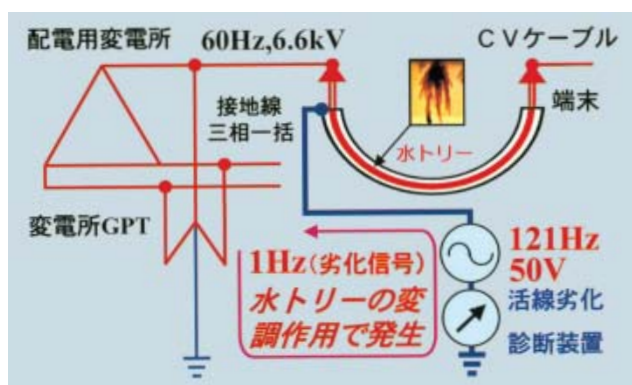
(1) 交流重畳法の原理

絶縁体を橋絡するまで進展した危険な水トリーでは、微弱な漏れ電流が発生します。これは印加電圧とともに急激に増える性質があり、通常の抵抗体で見られる電圧と電流の比例関係は成り立ちません。また、周波数が異なる2種類の交流電圧を同時に印加すると、新たな周波数の電流が発生します。例えば第2図に示すように、60Hzと121Hzの交流電圧を同時に水トリーに印加した場合には1Hzの電流が発生します。この電流は、テレビやラジオの電波と同じメカニズム（変調）によって発生することが実験と理論により裏付けられました。交流重畳法は、こうして発生した1Hzの電流を水トリー劣化信号として検出するもので、本診断装置の基本原理となっています。

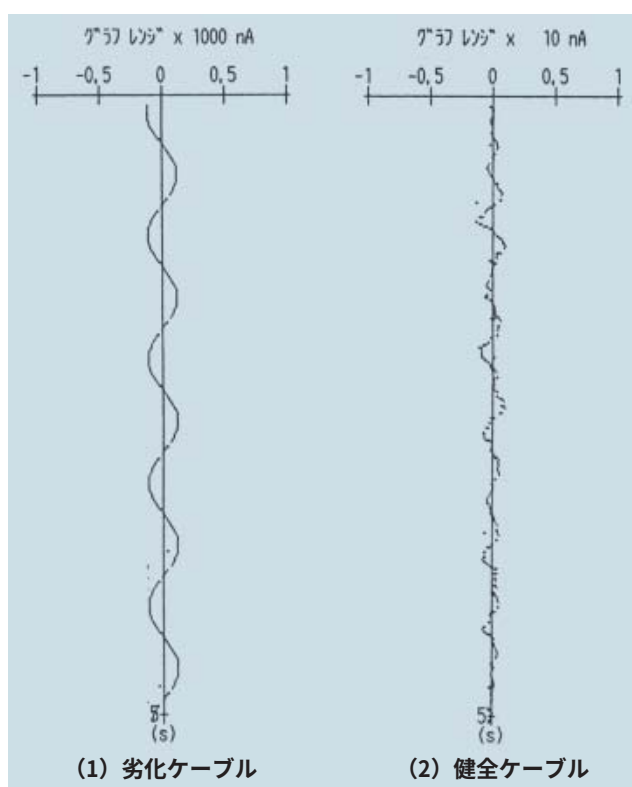


第2図 交流重畳法の原理

第3図に交流重畳法による実際の活線劣化診断回路を示します。三相一括したCVケーブルの既設接地線から121Hz（商用周波が50Hzの場合は101Hz）、50Vの交流



第3図 測定回路



第4図 交流重畳電流の実測例

電圧を重畳し、そのときに発生する1Hzの微小な電流（以下、交流重畳電流という）を測定します。

第4図に測定した交流重畳電流の一例を示します。水トリー劣化した不良ケーブルでは1Hzの正弦波状の電流が観測されますが、正常なケーブルでは全く観測されません。周波数を1Hzに設定した理由は、絶縁体を橋絡するような危険な水トリーを選択的に検出するには、直流もしくはこれに近い低周波が適しているためです（直流漏れ電流測定では橋絡水トリーのみ検出します）。ただし、周波数が低すぎると直流が主成分である迷走電流との区別が難しくなるため、実用上の下限は1Hz前後となります。

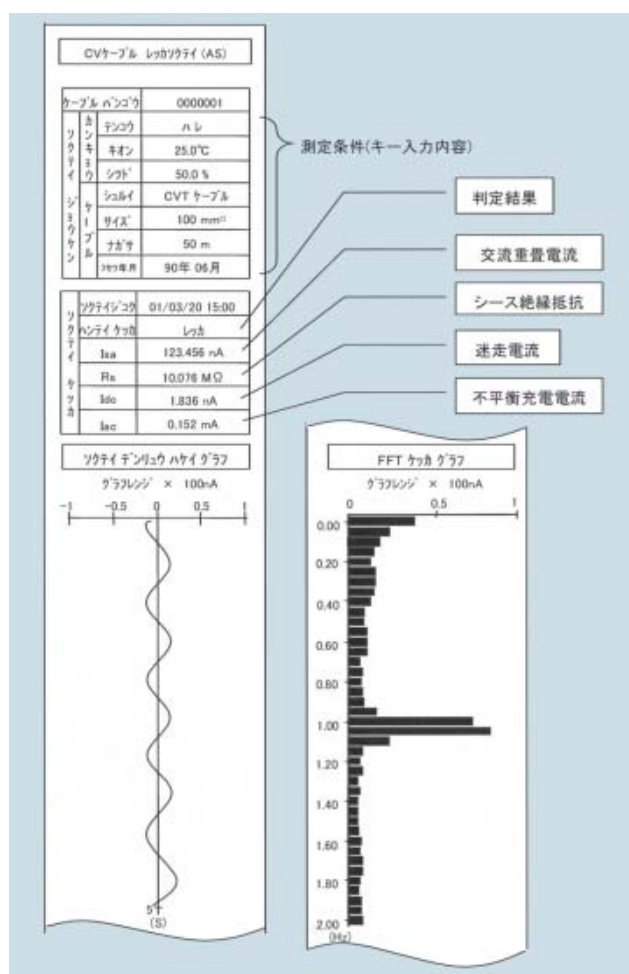
(2) 活線劣化診断装置の概要

第5図に開発した活線劣化診断装置（DISC-10G-AS）の外観を示します。本診断装置は、可搬性を考慮して次の3つのユニットで構成されています。



第5図 活線診断装置

- 測定器（写真右端）
1Hzの微小な劣化信号を測定します。
- 保安装置（写真中央）
高圧系統異常時に診断装置を既設接地線から瞬時に解列する保安回路を内蔵。また、121Hz (101) Hz、50Vの交流電圧を発生します。
- 電源部（写真左端）
本体駆動用の充電式バッテリー（DCアダプター）で、同サイズのACアダプターも用意されています。
操作は非常に簡単で、測定器上面のLCDの表示にしたがって行います。測定開始から約20分後に第6図に示す

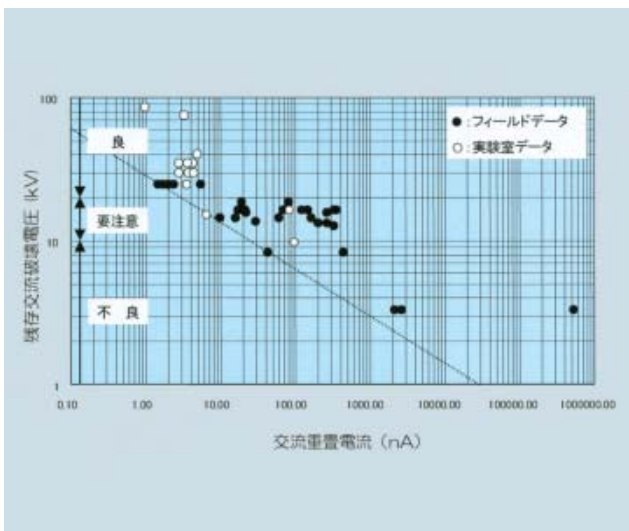


第6図 診断結果の例（水トリー劣化ケーブル）

ような診断結果がプリントアウトされます（この診断結果はオプションのメモリーカードにも記録可能）。測定データは、交流重畳電流、シース絶縁抵抗、迷走電流（直流成分）および不平衡充電電流の4種類で、劣化判定は交流重畳電流の測定値に基づいて行います。また、水トリー劣化ケーブルでは1Hzまたはその近傍にパワースペクトルのピークが現れますが、これは交流重畳電流の測定値とともに劣化の程度を直感的に判断する重要な情報になります。

(3) 劣化判定基準

運転状態にある高圧ケーブルでは、橋絡水トリー1個あたりの電気抵抗は高いもので10,000MΩオーダに達します。したがって50Vの交流電圧を重畳すると、理論上はnA（ナノアンペア：10億分の1A）オーダの電流が発生します。そのため、フィールドノイズを含めた交流重畳電流の実測値が10nA以上の場合を水トリー劣化の目安としています。第7図に交流重畳電流と残存交流破壊電圧の関係を示します。負の相関が明瞭に現れており、10nAを超えると電気設備技術基準に定める耐電圧（10kV）を下回るケーブルが現れ始めます。



第7図 交流重畳電流と残存交流破壊電圧の関係（例）

(4) 特長

本診断装置の主な特長は以下のとおりです。

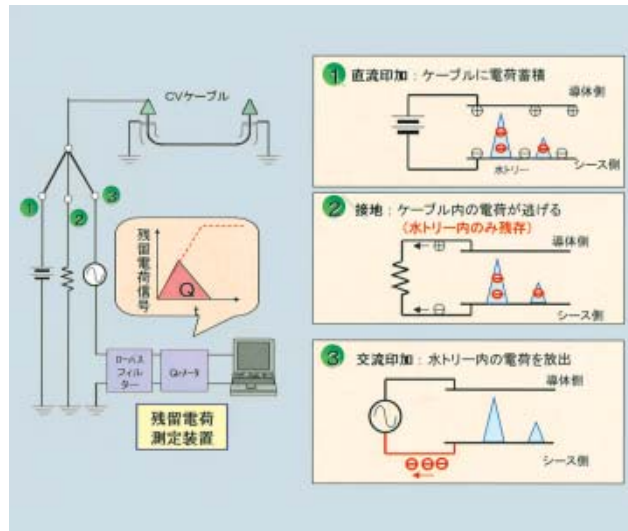
- ① 高圧活線接続作業が不要で、安全に測定ができます
- ② 劣化信号が1Hzの正弦波なので、迷走電流の影響が殆どありません
- ③ 塩塵により表面が汚損したケーブル末端でも、正確に劣化信号が測定できます
- ④ 高圧系統に悪影響を及ぼしません

なお、本診断装置は矢崎総業株式会社から販売されており、導入された電力各社や電気保安協会、特別高圧受電のお客さまから好評を頂いています。

3 特別高圧ケーブル用診断技術

(1) 残留電荷法の原理

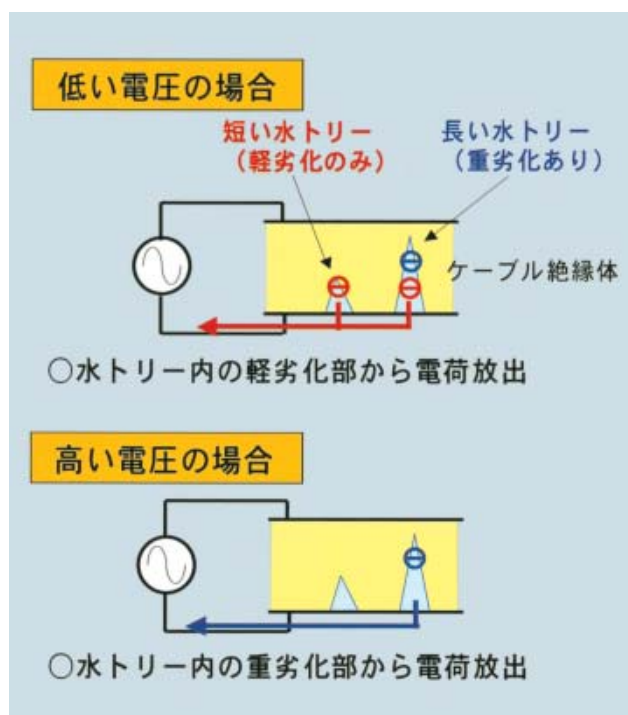
残留電荷法は水トリーに蓄積させた電荷量の大きさをもって劣化度を判定する手法です。具体的には第8図に示すように3段階の手順を踏んで測定を行います。



第8図 残留電荷法の測定手順

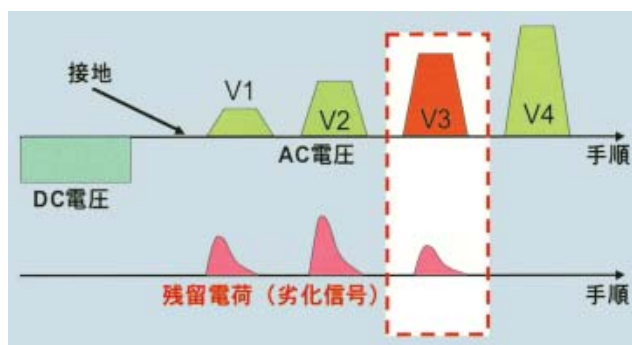
まず、ケーブルに直流電圧を印加し、絶縁体中に電荷を蓄積させます。次にケーブルを接地します。このとき絶縁体中に水トリーが発生していると、水トリー部にのみ電荷が長時間残留しますが、この電荷は交流電圧を印加することにより容易に放出されます。この信号を残留電荷測定装置により検出し、電荷量の大きさで劣化程度を判定します。

特別高圧ケーブル線路の場合、数kmの長距離に亘る線路も少なくありません。そのため、線路全体が一様に

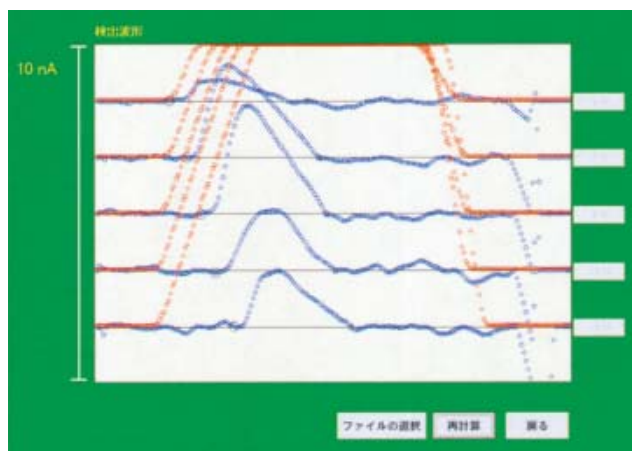


第9図 残留電荷の放出状況

劣化しているとは限りません。しかし、局所的な劣化状態の場合、総残留電荷量は均一な劣化の場合より少なくなるため、総残留電荷量による評価では判定が困難となる場合が生じます。そこで、第9図のとおり、劣化が進んだ水トリートメントほど高い交流電圧を課電しないと残留電荷の全てが放出されない、つまり、水トリートメント劣化が進むほど、高い交流電圧を課電した場合でも、電荷の放出が観測される点に着目して、新たに第10図のように電荷が放出される交流課電電圧（電界）の最大値を判定の指標とした新しい残留電荷法（交流ステップ昇圧課電法）を株式会社ビスキャスと共同で開発しました。第11図に測定結果の画面を示します。



第10図 交流ステップ昇圧課電法における課電手順と判定指標

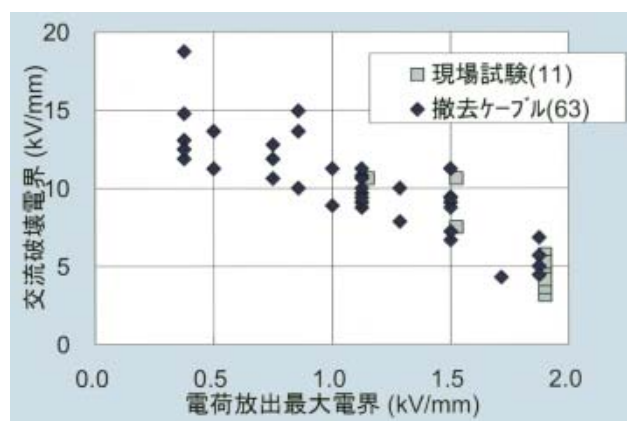


第11図 測定結果の画面 (劣化ケーブル)

(2) 撤去ケーブルを用いた検証と現場試験

第12図に、多くの撤去ケーブルを用いた試験結果を示します。図は、劣化信号である電荷放出最大電界（残留電荷が検出された最高交流課電電界）と交流破壊試験結果との関係を示しています。これより、劣化信号が大きいほど、交流破壊電界が低下する傾向を示し、両者により相関があるのが分かります。

長距離線路における交流ステップ昇圧課電法の有効性を確認するために、撤去予定線路を用いて現場試験を行いました。測定状況を第13図に示しますが、課電および測定システムは4tトラック車載となっております。本システムは、200mm² 33kV線路の場合、最長で3.2km（3相一括の場合）まで測定可能であり、必要電源は100、



第12図 劣化信号と交流破壊電界の関係

200V、必要電源容量は10kVA以下です。1回の測定時間は約40分です。これらの課電および測定システムは、実用化された現在も基本的には同じものを使用しています。第1表に残留電荷測定から推定された破壊電圧と実際の破壊電圧を示しますが、実際の破壊電圧のほとんどは推定された破壊電圧の範囲内に収まっており、この結果より長距離線路においても交流ステップ昇圧課電法は有効であると確認されました。

現在、当社管内では33kV級の湿式架橋CVケーブルなどの経年ケーブルに対して当該手法による診断を実施しており、今後は77kV級CVケーブルへの適用も検討しています。



(1) 外観



(2) 課電および測定システム

第13図 現場試験の状況

第1表 現場試験結果

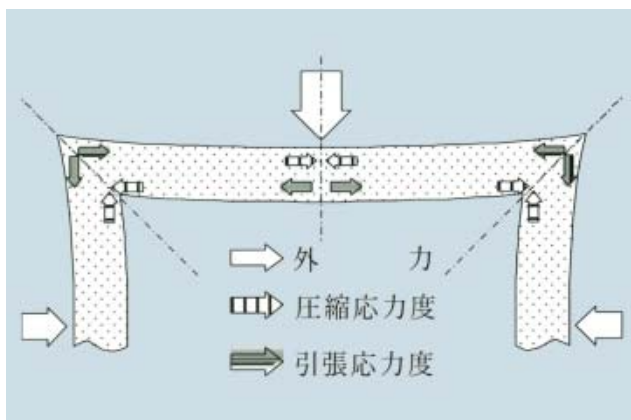
線路名	使用電圧 (kV)	線路長 (km)	使用年数 (年)	推定破壊電圧 (kV)	破壊試験結果 (kV)
A	33	0.7	26	20-40	25, 29
B	33	0.8	30	20-40	>33
C	33	0.6	23	20-40	33, 33, 37
D	33	1.9	25	20-40	33, 42, 46
E	33	0.6	24	>60	—
F	33	1.2	23	>60	—
G	33	2.4	23	>60	—
H	33	2.0	23	40-60	—
I	33	2.0	23	測定不能	—
J	33	2.0	23	測定不能	—

マンホールの強度診断および補強工法

当社管内の送電用マンホールにおいて、1960年以前に構築されたマンホール（以下、経年マンホール）は約600個あまり存在し、全体設備数の約10%を占めています。当時のマンホールの設計車両荷重は現行設計に比べて小さかったために、これら経年マンホールは鉄筋量が少ないにも拘わらず、昨今の大型車両の増加などによりそれらが受ける荷重は年々厳しくなっています。そこで、これら経年マンホールへの強度面の対策のため、マンホールのコンクリート強度を非破壊検査で推定する手法と、マンホール内部から部分的な補強を行う工法を開発しました。

(1) 経年マンホールの強度診断手法

マンホールの各部材には、第14図に示すように土壌や車両などによる荷重により、圧縮応力または引張応力が発生します。コンクリートは、引張強度よりも圧縮強度が高いことから、一般の鉄筋コンクリートは、圧縮応力をコンクリートが負担し、引張応力を鉄筋が負担するように設計しています。しかし、経年マンホールは鉄筋量が少ないことから、各部の引張強度が問題となります。そこで、シュミットハンマにてコンクリートの圧縮



第14図 マンホール各部の応力分布

強度を測定することにより、その値からコンクリートの引張強度を推定する手法を考案しました。シュミットハンマは、現場にて簡易にコンクリートの圧縮強度を推定できる装置として実績も多く、数多くのマンホールを合理的に診断するのに適しています。シュミットハンマによる測定状況を第15図に示します。



第15図 シュミットハンマによる測定状況

経年マンホールのコンクリート引張強度の推定は、現地試験などから得られたデータを用いて、シュミットハンマで得られた測定値からコンクリートの圧縮強度を推定し、その圧縮強度からコンクリートの引張強度を推定します。この方法は、マンホールからサンプルを採取し、破壊試験によりコンクリートの圧縮・引張強度を測定する方法に比べて、簡易な測定でコンクリートの強度診断をすることができます。

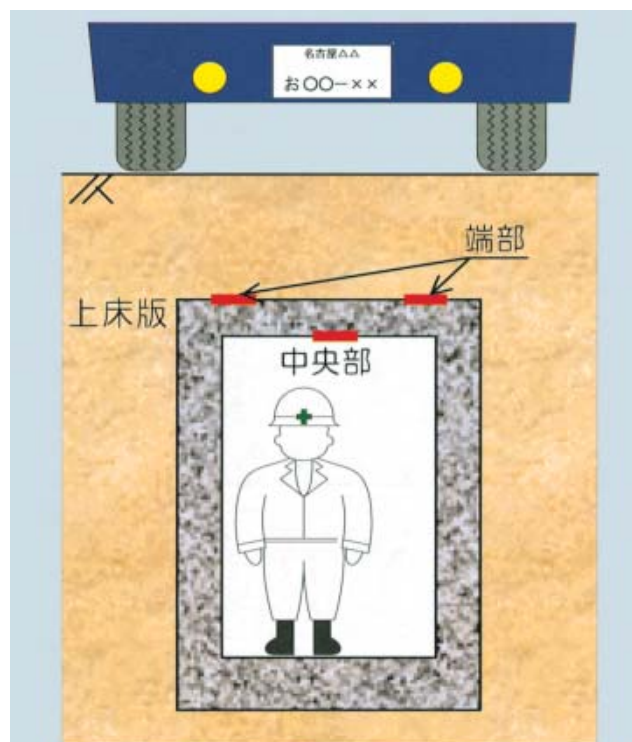
マンホールの強度診断は、当該マンホール各部が受ける設計上の応力度を予め算出しておいて、それと推定した引張強度とを対比させて診断を行うものです。

現在、当該手法を現場に適用し、その結果をマンホールの改修計画に反映しています。

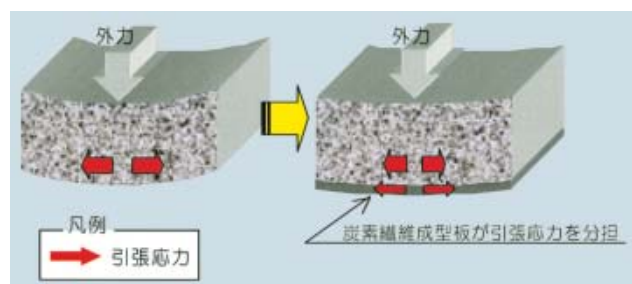
(2) 経年マンホールの補強方法

経年マンホールの強度的な弱点部は、第16図に示すようにマンホールの上床版内側の中央部と、上床版外側の端部です。それぞれにおいて引張応力が発生するため、これに対して補強を行う必要があります。そこで、上床版内側中央部へは近年コンクリート構造物の補強に適用されている炭素繊維成型板を接着させることにより強度補強を行い（第17図参照）、上床版端部は、マンホール内側よりレジンコンクリート製のブロックを接着することにより端部の厚みを増すことで発生する引張応力を低減させることとしました（第18図参照）。第19図に実際の現場施工例を示します。

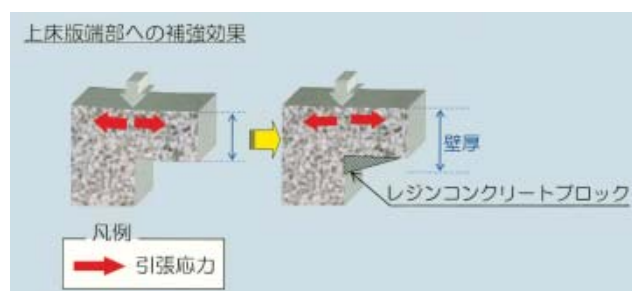
開発した補強工法（カーボン・レジン工法）は、材料が少量かつ安価で、1日以内の短時間で施工が可能であるため、交通規制を最小限に止めることができるとともに、マンホール補修費用の削減が図れます。



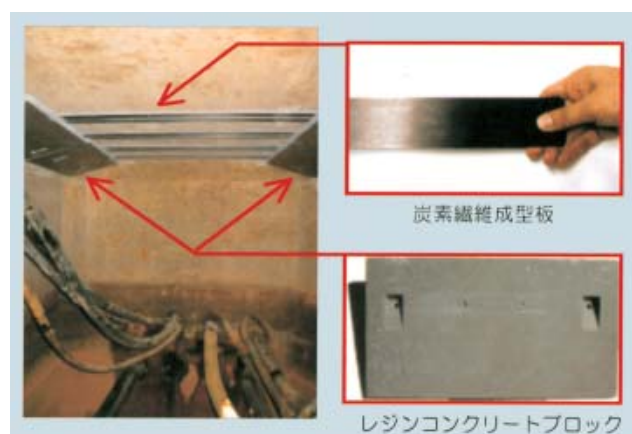
第16図 経年マンホールの弱点部



第17図 炭素繊維シートによる補強



第18図 レジンコンクリートブロックによる補強概要



第19図 現場施工の例

おわりに

経年設備の増加に伴い、それらを合理的に運用していくためには、設備の的確な診断技術および安価な改修技術の確立が急務です。ここでは地中送配電設備の最新の診断・改修技術として、CVケーブル劣化診断技術および経年マンホール強度診断・補強技術について紹介しました。

(1) CVケーブル劣化診断技術

CVケーブルは三層同時押出・乾式架橋技術など多くの改良が加えられ、経年劣化に対しての性能も向上してきました。特に水トリリー劣化に関しては、遮水層の採用によりその発生・伸展は格段に抑制されるようになってきています。しかし、多くの既設経年ケーブルを寿命限界まで安全に使用するため、当社では今回紹介した交流重畳法ならびに残留電荷法（交流ステップ昇圧課電法）の更なる成熟を図っていきたいと考えています。

(2) 経年マンホール強度診断・補強技術

経年マンホールの受ける各種荷重条件は、年々厳しくなっており、マンホール損壊などに対する予防保全のためには、その強度診断および補強工法が重要です。今後、多くの対象マンホールに対して、今回紹介したシュミットハンマを用いた強度診断手法およびカーボン・レジン工法を適用していく予定です。