

プラグインエルボで発生する沿面放電特性

中村 友哉^{a)}・川小根 光輝^{a)}・白浜 優吾^{a)}・迫田 達也^{b)}

Creeping Discharge Characteristics in Plug-in Elbo

Tomoya NAKAMURA, Mistuki KAWAKONE, Yugo SHIRAHAMA, Tatuya SAKODA

Abstract

Measurement of partial discharges (PDs) at joint and terminal sections in cross-linked polyethylene (XLPE) cables is useful for stable power supply because defects at joint and terminal sections occupy 30% of electric failures in Japan. The purpose of this study is establishment of an insulation deterioration diagnostic technique based on detection of PDs using acoustic emission (AE) sensors. We here evaluated temporal variation in AE signal intensity, characteristics of frequency spectra and phase of the AE signal for tracking deterioration.

Keywords: Partial discharge, XLPE, Tracking, Acoustic emission, Creeping discharge

1. はじめに

電力の安定供給の根幹をなす一つに電力ケーブルが挙げられるが、電力ケーブルの大部分は架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル(CV ケーブル: Cross Linked Polyethylene Insulated Vinyl Sheath Cable)で占められている。CV ケーブルの寿命は、当初、30~50年と言われており、1960年代に導入されたCV ケーブルの多くが更新の時期を迎えている。電力会社には常に良質な電気の安定供給が求められており、稼働している電気設備の円滑な運用と信頼性の確保が重要であるが、高度経済成長期に大量導入された設備の老朽化が近年危惧されている⁽¹⁾。国内で運用されている電力ケーブルの状態は様々であり、表面上は問題が無いように見えてもその使用年数に応じて劣化が進行しているもの、逆に想定寿命を超えたケーブルでも実用に十分耐え得る絶縁強度を保持しているもの、さらには、寿命年数以前に絶縁強度が極端に低下して絶縁破壊等の事故が生じてしまうもの等である⁽²⁾。具体的に、CV ケーブル本体の不具合として、絶縁体中の水トリーや絶縁体中のボイドによる部分放電を介した電気トリーが挙げられる。加えて、中間・終端接続部では、上記に加えて界面での異物や傷に起因した沿面放電がある。界面でのトラッキング⁽²⁾は、ケーブル接続部での絶縁性能を低下させる現象の一つである。トラッキング劣化の初期段階は、部分放電により絶縁材料の抵抗が減少し、漏れ電流が流れ始める。その後、局所的な放電により材料表面が劣化し、炭化導電路が形成される。従って、トラッキングによる事故を減らすた

a)工学専攻エネルギー系コース大学院生

b) 電気システム工学科教授

めには、初期の部分放電の検出が重要である。部分放電の検出方法にはいくつかあるが、本研究では圧電AE(Acoustic Emission)センサを用いている。AEセンサは絶縁物質内での部分放電によりもたらされる弾性波を容易に検出できる機器である⁽³⁾⁽⁷⁾。AEセンサのノイズレベルは比較的low、低ノイズを処理後、FFT解析を介したデジタルフィルタの活用で、AE信号の取得に関するS/N比を容易に向上できる。

本研究では、実際に使用され撤去されたプラグインエルボ及び絶縁ゴムシートを用いて電力ケーブル接続部で生じるトラッキング劣化を模擬し、AEセンサ及びCTセンサを用いて、劣化に伴う特性について検討を行った。また、過去の研究で、同じ電界強度下でのテストピース試験も行っているため、整合性の結果を合わせて述べる。

2. 実験

2.1 6.6kV用プラグインエルボの電界強度計算

本試験で用いているプラグインエルボは、実際に現場で使用されていた撤去品のため、接続部絶縁層表面の抵抗が低下していることが考えられる。そこで、電界計算を行う際に、ケーブル絶縁層表面の抵抗を低下させることとし、電界計算にはCOMSOLを用いた。絶縁層表面の抵抗の低下の割合は、EPゴムシートにアーク放電を与えた際、ゴムシートの表面抵抗が35%低下(2000 MΩ⇒1300MΩ)したので、その低下率を参考とした。図1にプラグインエルボの電界強度(パターン1)の算出結果を示す。プラグインエルボのモデルにおいて、プラグインエルボ及びテストピー

スの絶縁層の導電率は $1.64 \times 10^{-18} \text{S/m}$ 、比誘電率は 2.8、加えてプラグインエルボの表面部は抵抗が下がるため、導電率を $2.52 \times 10^{-18} \text{S/m}$ とした。印加電圧は 6.6 kV の対地電圧である 3.81 kV とし、電極間距離は 16 mm とした。その時の最大電界強度は 5.13 kV/mm となる。この場合の試験条件をパターン 1 とする。この電界強度と同等となるようにテストピースの電界強度を設定し、その時のテストピースへの印加電圧は 3.6 kV、電極間距離は 3 mm と決定した。加えて、プラグインエルボを用いた実験において、異なる試験条件において試験を実施した。以降、パターン 2 とする。その場合の電界分布を図 2 に示す。実験条件として、印加電圧を 3.0 kV、電極間距離を 16 mm とし、その時の電界強度は 4.04 kV/mm であった。

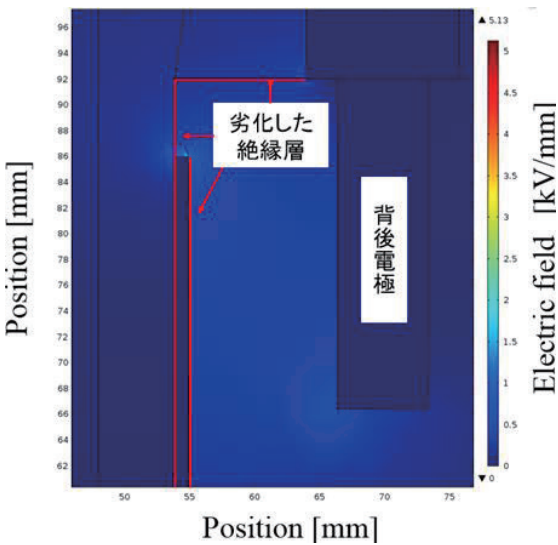


図 1 プラグインエルボの電界分布(パターン 1)

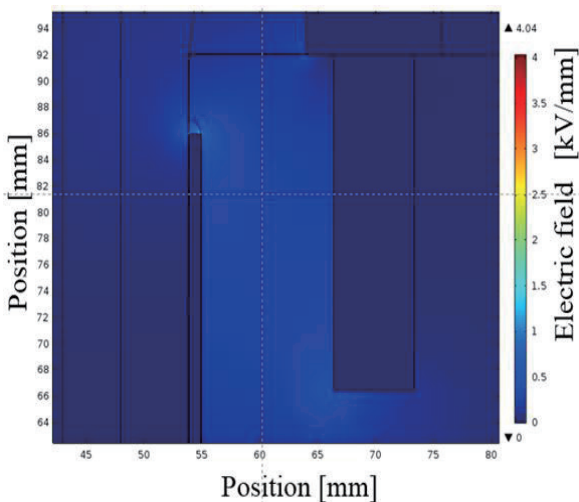


図 2 プラグインエルボの電界分布(パターン 2)

2.2 実験方法

図 3 に実験装置の概要を示す。ここでは、水の浸入を銅線を用いて模擬し、接地電極として扱った。銅線を部材内部に差し込み、銅線先端と導体間で発生させた部分放電を

AE センサで検出した。また、銅線と導体間の距離を 16 mm として実験を実施した。部材内部に差し込んだ銅線は直径 1.2 mm で、導体内壁部分と絶縁栓との間に挟んだ状態で固定した。印加電圧は 6.6kV 用プラグインエルボの対地電圧である 3.8 kV(パターン①)及び 3.0 kV(パターン②)で実施し、劣化を加速させるために電源周波数を 1 kHz とした。検出した AE 信号は、プリアンプ及びディスクリミネータで増幅しており、パターン①において 100 dB 増幅、パターン②において 90 dB 増幅し、PC で取得した。また、AE 信号を取得する際、ディスクリミネータによりフィルタ処理(HPF: 50 kHz, LPF:500 kHz)を施している。

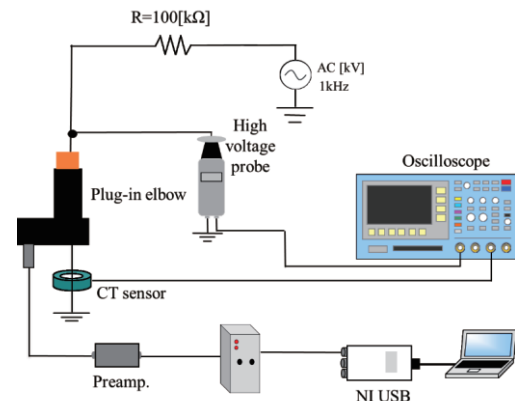
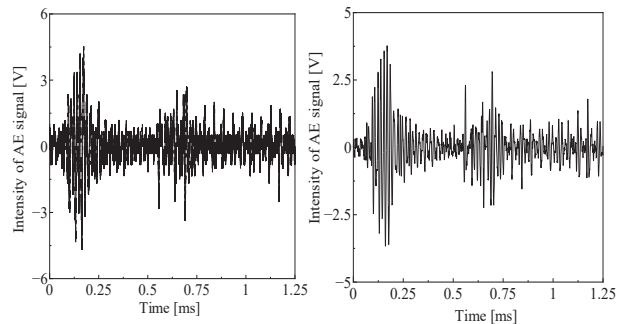


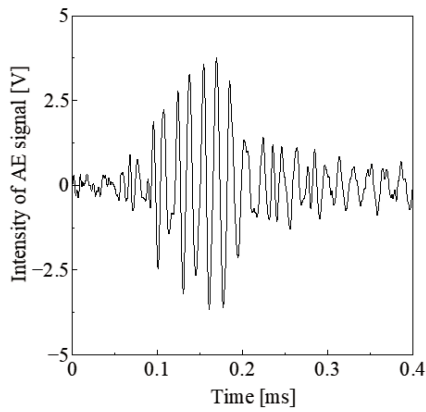
図 3 実験装置の概要

3. 実験結果および考察

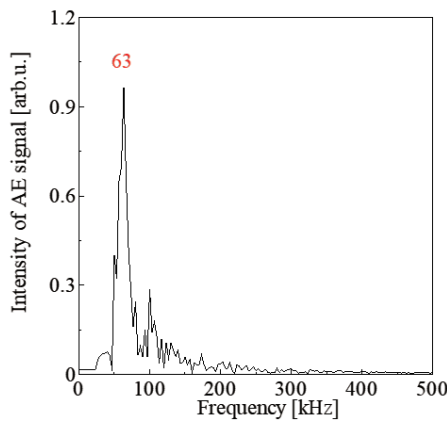
図 4(a)(b)に典型的な AE 信号波形及び周波数スペクトルを、図 4(c)(d)に AE 信号拡大波形及び周波数スペクトルを示す。図 4.6 において、パルスが 0.5 ms 間隔(1kHz の半周期毎)で検出されており、且つ図 4.7(d)において、スペクトルのピークが 63 kHz となっている。この結果から、本試験において部分放電信号を検出していると考えられる。さらに、図 4.8(d)よりスペクトルのピークが 30 MHz で検出されていることから部分放電電流を検出していると考えられる。



3(a) AE 信号波形 (b) バンドパス処理後の波形



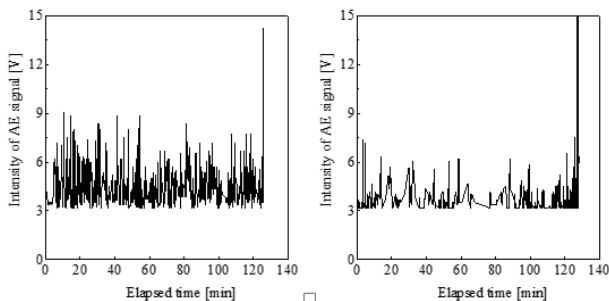
(c) AE 信号拡大波形



(d) 周波数スペクトル($\Delta f=3.3$ kHz)

図4 典型的な AE 信号波形と解析結果

次に、図5に各パターンでの最大 AE 信号強度の時間変化を示す。本試験においてパターン1では課電開始から約126分で絶縁破壊に至っており、パターン2においては、課電開始から約128分で絶縁破壊に至っている。図6より、いずれのパターンにおいても信号強度は時間経過とともに増減を繰り返していることを確認した。

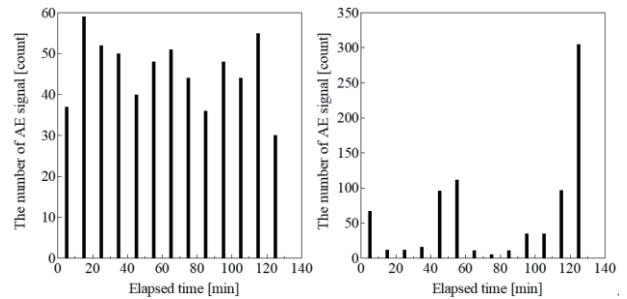


(a) パターン1 (b) パターン2

図5 最大 AE 信号強度の時間変化

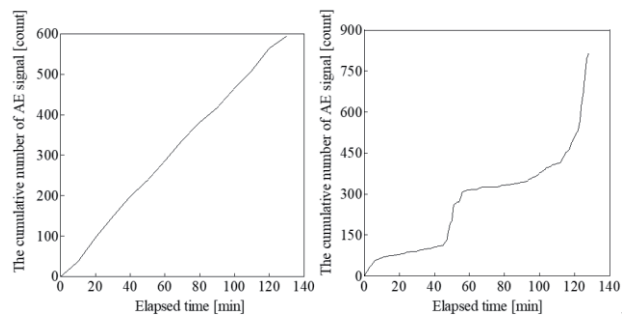
次に、図6及び図7に各パターンの10分当たりの AE 信号の検出数及び累積数を示す。図6より、AE 信号の検出数は時間経過につれ、増減を繰り返していることが分か

る。特に、図6(b)においては、破壊直前に急激に信号が増加していることが確認でき、信号の変化が顕著に表れている。また、パターン1に比べて電界強度の低いパターン2の方が10分当たりの検出数が高い要因についてはセッティング誤差が考えられる。接地電極を部材内部壁面に配置する時、空気層が出来てしまうと、部分的に電界が高くなり放電が起きやすくなる。本試験において、AE 信号の増幅をパターン1では100 dB、パターン2では90 dBと設定していたことから、パターン2においては、セッティング誤差の影響が起因したのではないかと考える。図7より、パターン1と2で時間経過に伴う発生レートの変化に違いが見られた。全体の発生レートで見た時、パターン1の場合、4.7 count/min であり、パターン2の場合、6.36 count/min という結果となった。また、商用周波で換算した場合、パターン1の場合0.29 count/min となり、パターン2の場合、0.40 count/min となった。



(a) パターン1 (b) パターン2

図6 10分当たりの AE 信号の検出数



(a) パターン1 (b) パターン2

図7 AE 信号の累積数

また、著者らは、パターン1との同電界強度で、テストピースの試験も行っている。⁽⁸⁾そこで今回、同電界強度で実施した実機(パターン1とテストピース)を用いた結果と比較する。まず、図8にテストピースで試験を行った時の AE 信号強度の時間変化、図9に AE 信号検出回数時間変化を示す。絶縁破壊に至るまでの時間から見た場合、プラグインエルボでの試験とテストピースでの試験において、破壊に至るまでの時間差は約87分であった。これは、誤差の範囲内であると考えられる。次に、AE 信号強度の時間

変化について、どちらの場合でも信号強度は増減を繰り返す傾向が見られた。AE信号の検出数においても、時間経過とともに検出数増減している傾向が見られた。検出数において、10分当たりの検出数に違いは見られるものの、劣化進展に伴う信号の変化には同様の傾向が見られた。この結果から、実機とテストピース間で整合性が取れたと考える。

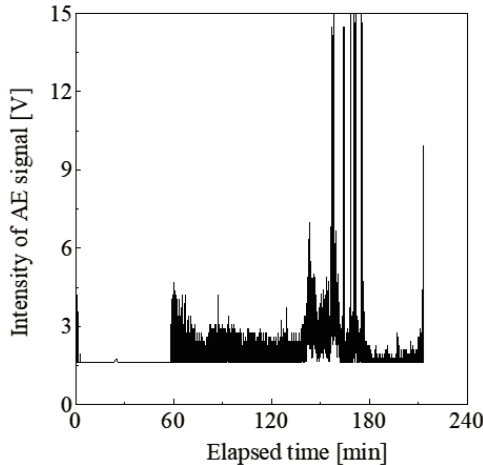


図8 10分当たりのAE信号強度(テストピース)⁽⁸⁾

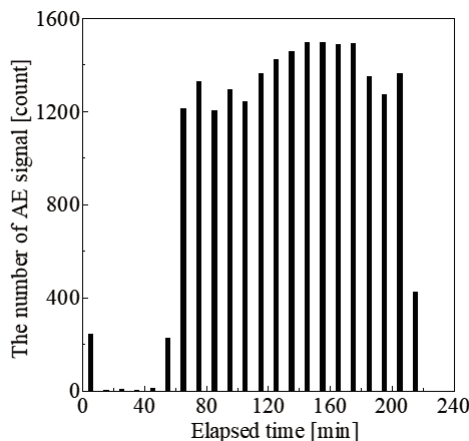


図9 10分当たりのAE信号検出回数(テストピース)⁽⁸⁾

4. 結論

本研究では、実際に使用され撤去されたプラグインエルボを用いて電力ケーブル接続部で生じるトラッキング劣化を模擬し、取得した信号から劣化に伴う特性について検討を行った。プラグインエルボを用いた実験において、電界強度に関係なくAE信号強度及び検出数は、時間経過とともに増減する傾向が見られ、電界が低い方がより顕著に見られた。テストピースを用いた実験においても同様であり、変化量は実機と比べると小さいもののAE信号強度及び放電電荷量、AE信号の検出数、いずれも時間経過とともに増減を繰り返す傾向が見られた。また、プラグインエルボ及びテストピースを用いた実験において、同電界強度下で実験を実施したところ、絶縁破壊時間、AE信号の強

度及び検出数の時間変化より、劣化の進展に伴う信号の変化について同様の傾向が見られ、整合性を図ることが出来たと考える。実機を用いた実験を行う場合、サンプル数の取得が困難、コスト面で不安がある等、実験において懸念事項があるが、上記の結果より、電界強度を正確に算出することで、簡易的なテストピースにより模擬できることが分かった。

参考文献

- 1) 電気学会: 送電・配電 改訂版, オーム社, 2000.
- 2) 電気学会: 電気設備の診断技術, オーム社, 2003.
- 3) 植月, 他: 高電圧工学, コロナ社, 2007.
- 4) 大津: アコースティック・エミッションの特性と理論 第2版, 森北出版, 2005.
- 5) 特別高圧 CV ケーブル絶縁劣化形態と絶縁診断技術の動向, 電気学会技法部, No.266, 1998.
- 6) 高電圧試験ハンドブック, オーム社, 1983.
- 7) 杉浦匡紀, 中村祐太, 田村彰教, 三宅琢磨, 迫田達也, 蔦川陽一, 川越英文, 西昌美, 中川智之, 阿部進一郎: “EP ゴムシートを用いた周波数加速劣化試験で得られる AE 信号の特性”, 電気関係学会九州支部連合大会, 2012年9月
- 8) 平島俊紀, 白浜優吾, 中村友哉, 三宅琢磨, 迫田達也, 緒方貴仁, 鎌田文麿, 副島通邦: “絶縁ゴムのトラッキング過程における AE 信号特性”, 宮崎大学工学部紀要, pp.199-204, 2016.