

水トリー劣化した CV ケーブルの部分放電特性に関する研究

山崎 悠平^{a)}・山下 勝也^{a)}・迫田 達也^{b)}

Partial Discharge Characteristics of XLPE Cable with Water Tree

Yuhei YAMASAKI, Katsuya YAMASHITA, Tatsuya SAKODA,

Abstract

Since the aging of electric facilities have become an important issue in Japan, safety of such facilities in operation and ensuring high reliability are highly demanded. It is also necessary for each electric power company to reduce the cost for maintaining, managing, operating, and updating facilities because of the electric power liberalization. For these backgrounds, some sorts of sophisticated technologies for on-line monitoring systems and deterioration diagnosis technologies are needed rapidly in order to avoid any electric failures. Our research is to develop partial discharge locator (PDL) which is to locate cable faults by detecting current pulses generated by partial discharges (PDs). This paper presented theoretical analysis of frequency characteristics of a PD pulse on a branch line for PDL adaptability of multiple branch lines by using a simulation software. In addition, as a comparison to the simulation, we also carried out experiments using actual XLPE cables and confirmed the integrity verification of the simulation results. In this paper, we investigated PD characteristics caused by water trees in XLPE cables. It was found out that PDs can be generated by water trees. Therefore, PDL can be used for locating water tree.

Keywords: Partial Discharge, Water Tree, XLPE Cable, Fault locator

1. まえがき

電力ケーブルをはじめとする電力設備は、その多くが高度経済成長期に導入され高経年化が進行しており更新期を迎えつつある。しかし、電力需要の飽和化及び電力自由化等を背景にした近年の厳しい社会情勢下では、点検・診断や電力設備の更新時期を計画的に運営し、トラブルを未然に防ぎたいという強い要望がある¹⁾。このような社会的背景から、設備の保守・保安全管理へのコスト削減及び従来通りの安定した電力供給が求められる中、既設設備の円滑な運用と維持管理への関心が一層高まっている²⁾。

電力ケーブルの事故要因の一つに絶縁破壊がある。これは、ケーブル絶縁体中のボイド・異物・突起物を起点として、部分放電・電気トリー・水トリーといった劣化形態が現れ絶縁破壊に至る³⁾。水トリー劣化とは、水の存在下において異物や突起物等の電界集中部に発生する現象であり、水が入った微小ボイド及びそれらを繋ぐ樹枝状の微細な通路の集合体として観察される⁴⁾。66 kV 級以下の架橋ポリエチレン絶縁ケーブル（以下、CV ケーブル）の故障原因の多くは水トリー劣化で占められている。なお、高圧ケーブル用の水トリー劣化診断技術として広く使用されるのは直流高圧絶縁抵抗試験である。判定は、直流電圧印

加時の漏れ電流絶対値、電流 - 時間特性、キック電流（部分放電に起因する急峻な漏れ電流の変化）の有無によって行う⁴⁾。特に、キック電流の観測は、水トリー内における部分放電の発生を意味し、水トリー劣化ケーブルにおいても部分放電が発生し、劣化を促進することが考えられる。さらに部分放電は、ケーブル劣化の前駆現象であり、同放電を検知することはケーブル事故の未然防止を可能とする。設備の効果的な運用・保守を行うため、部分放電測定による劣化診断技術の高度化が望まれる³⁾。

著者等は、送配電系統の CV ケーブルで発生した部分放電を常時監視システムにより検出し、その後、同放電の発生箇所を標定するシステムの開発を進めている。部分放電発生箇所を標定することは、ケーブルの取り替え区間を最小化できる可能性がある。また、検出地点での部分放電強度は発生源から減衰しながら伝搬してきたものであるため、部分放電の伝搬距離を明らかにすることで発生地点での部分放電の規模を推定することが可能となる。これにより、ケーブルの劣化の程度を正しく評価できるようになる。

本報では、CV ケーブルの劣化過程及び、水トリー劣化したケーブルの部分放電発生特性を明らかにすることを目的として、6.6 kV 級水トリー劣化ケーブルを用いた放電発生試験を行った。その結果、定格電圧以上の高電圧を印加した際に、部分放電の発生を確認したので報告する。

a) 電気システム工学専攻大学院生

b) 工学教育研究部

2. 劣化位置標定手法の概要

図1に位置標定手法の概要を示す。ケーブルのある地点で発生した部分放電による電流パルスが被測定ケーブルの両端に配置した Current Transformer (CT) センサで検出し、各 CT センサへの電流パルスの到達時間差から部分放電発生箇所を特定する。同図左端を A 地点とし、CT センサ、制御用 PC、USB デジタイザ、GPS 受信機、電流誘導コイル、さらに同コイル用駆動電源を配置する。右端の B 地点には、CT センサ、制御用 PC、USB デジタイザ、GPS 受信機が配置される。

2 点間の距離を L [m]、劣化位置から A 地点への距離と B 地点への距離をそれぞれ L_1 [m]、 L_2 [m]、劣化信号の伝搬時間をそれぞれ t_{PDA} 、 t_{PDB} とする。 Δt は、各地点における劣化信号の伝搬時間 t_{PDA} 及び t_{PDB} の差を表す。さらに、本システムでは電流インジェクションコイルを用いて任意の電流信号を被測定ケーブルに入射する。 ΔT は、入射する電流信号が A 地点の CT センサから B 地点の CT センサに到達するのに要する時間である。電流信号の伝搬速度は測定範囲内に存在する接続部や分岐接続部、ケーブルの劣化状態によって異なるため、測定対象の環境によって標定精度が大きく左右される。電流インジェクション信号は、これらの環境による相違を抑制するためのものであり、劣化診断を行う対象範囲固有の ΔT を測定する。部分放電電流の到達時間差 Δt 、インジェクション信号の伝搬時間 ΔT を用いると、 L_1 、 L_2 は式 (1) と式 (2) により与えられる。

$$L_1 = L (1 - \Delta t / \Delta T) / 2 \dots \dots \dots (1)$$

$$L_2 = L (1 + \Delta t / \Delta T) / 2 \dots \dots \dots (2)$$

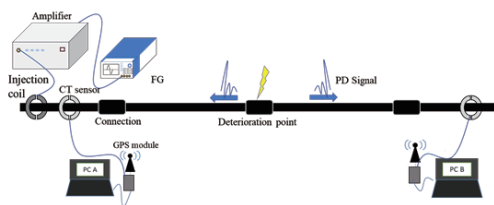


図1. 位置標定手法の概要

3. 6.6kV 級 CV ケーブルを用いた放電発生試験

3.1 高圧印加時の放電発生試験

試験時の実験回路を図2に示す。被測定ケーブルは水トリー劣化が確認された 6.6 kV 級 CV ケーブル(45 cm)を用いた。同図に示す通り、ケーブル導体 - 遮蔽間に交流電圧を印加し、発生する放電電流を観測した。使用した CT センサは、Prodyn Technologies 社製、オシロスコープは、横河計測株式会社製 DLM2054 である。また、高圧プローブを用いて印加交流電圧を測定した。なお、高電圧印加によ

るコロナ放電抑制のため、ケーブル部及び高電圧印加部は絶縁油中に設置した。

まず、商用周波 60 Hz の交流電圧を 3.8 kV、5.0 kV、7.0 kV、10 kV、の順に昇圧する高電圧印加試験を行った。さらに、同様の実験回路を用いて 60 Hz で 3.8 kV 及び 5.0 kV を 5 時間印加する長期試験を行った。なお、長期試験においては、3.8 kV を 3 時間印加した状態で部分放電による信号が観測されない場合、5.0 kV に昇圧しさらに 3 時間の印加を続行する。ここで、3.8 kV は定格電圧の実効値である。なお、実験試料の詳細は後述する。

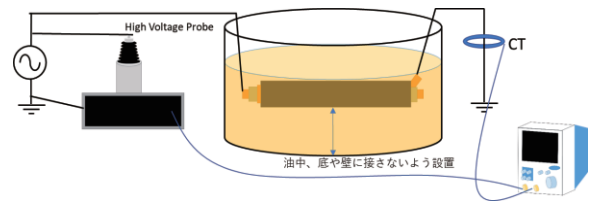


図2. 実験回路

3.2 試験結果

図3に、交流電圧 10 kV 印加時に観測した信号波形及び、周波数解析結果を示す。同信号波形の立ち上がり時間は数十 ns であり、10 MHz から 60 MHz の高周波成分を多く含むことが分かる。また、図4に交流信号と観測した信号波形の関係を示す。信号の発生位置が交流信号の同位相、または逆位相で発生していることが分かる。部分放電信号の発生タイミングは交流電圧の位相に依存するという特徴を持つ。以上のことから、今回取得した放電信号は部分放電信号であると考えられる。

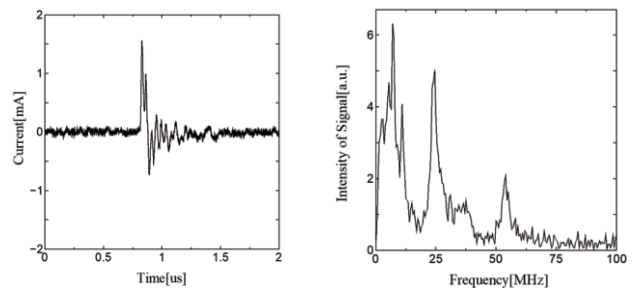


図3. 観測した信号波形 (左) と周波数解析結果 (右)

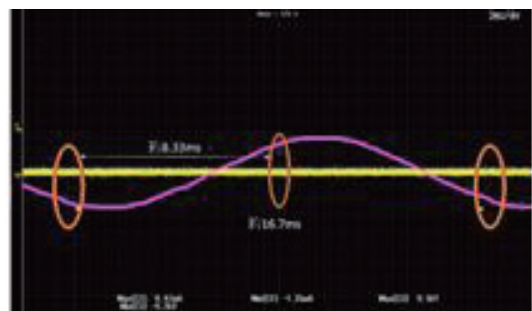


図4. 商用周波数と放電信号の関係

3.3 長時間印加試験方法と結果

同一のケーブルを用いて、3.8 kV 交流電圧を長時間印加し、模擬劣化試験を行った結果を示す。図 5 に 3.8 kV 印加時に観測した波形、図 6 に周波数解析結果を示す。図 5 に示した波形は、前章で示した波形と比較して立ち上がり時間が緩やかである。また、周波数解析結果より、10 MHz を超える周波数帯域が存在していないことが分かる。したがって、3.8 kV 印加では部分放電信号が発生していない。さらに、5.0 kV 印加でも 3 時間の印加試験では放電信号は発生しなかった。

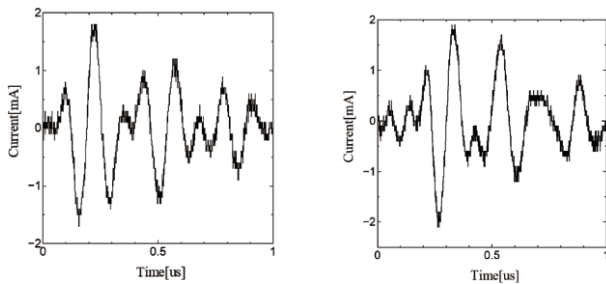


図 5. 3.5 kV 印加時の取得信号

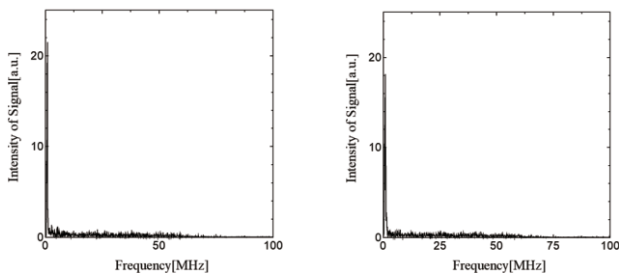


図 6. 周波数解析結果

4. 異なるケーブル試料を用いた比較試験

4.1 試験条件

上述した試験ケーブル試料（以降、1 番ケーブルとする）と同じ配電系統内に存在した劣化状態の異なる供試ケーブルを用いて同様の試験を行った。図 7 に試料の様子を示す。同図の、上から 2 番ケーブル、3 番ケーブル、4 番ケーブルとする。各ケーブル試料は、それぞれ絶縁劣化形態が異なり、特に 4 番ケーブルはシース上に亀裂が存在する。以上の 2 番から 4 番ケーブルを用いて、上述した高電圧印加時と同様の放電発生試験を行った。



図 7. 各試験ケーブル試料

4.2 試験結果

図 8 に 2 番ケーブルを用いた試験結果、図 9 に 3 番ケーブルを用いた試験結果を示す。4 番ケーブルは、交流 2.4 kV 印加時点で過電流のため交流印加装置が停止したため実験を中止した。図 8 に示す観測波形は、立ち上がり時間が数十 ns である。また、信号の周波数成分は、40 MHz から 70 MHz の高周波成分を含むことがわかる。上述した部分放電の特徴である、放電信号の立ち上がり及び周波数解析結果より、本信号は部分放電信号であると考えられる。また図 9 に示す通り、3 番ケーブルを用いて行った実験においても同様に立ち上がり時間数 ns の信号が観測された。

また、部分放電信号の発生が観測された 2 番ケーブル及び 3 番ケーブルを用いて、1 番ケーブル同様 3.8 kV の長時間印加実験を行ったが、1 番ケーブル同様 3 時間の印加では放電は観測されず、模擬劣化試験条件の見直しが必要であることが考えられる。

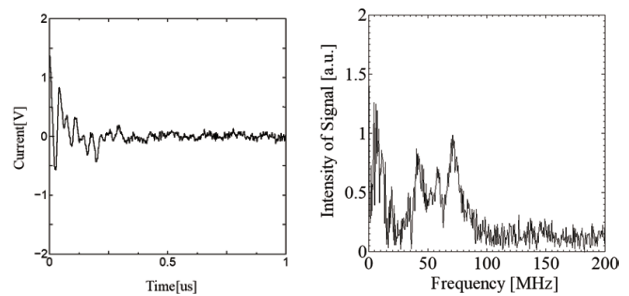


図 8 2 番ケーブル試験結果（左：観測信号波形、右：周波数解析結果）

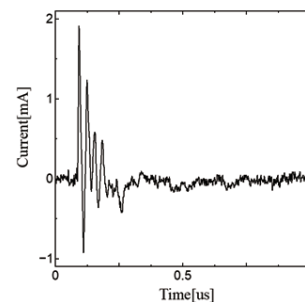


図 9 3 番ケーブル試験結果

5. まとめ

本論文では、水トリー劣化が確認された 6.6 kV 級 CV ケーブルと、同系統内に存在した絶縁状態の異なる撤去済みケーブルを用いて、高電圧を印加する放電発生試験と、3.8 kV 及び 5.0 kV を長時間印加する模擬劣化試験を行った。放電発生試験において、4 本の試験ケーブルのうち 3 本から部分放電電流の発生を確認した。一方、模擬劣化試験においては、何れのケーブルも部分放電の発生は観測されていない。従って、今後は周波数加速劣化試験を実施することで、水トリー劣化したケーブルが絶縁破壊に至るまでのプロセスを明らかにする必要がある。水トリー劣化したケーブルの劣化ステージごとの部分放電の発生頻度、強度

などを検討し、水トリー劣化診断に有用なデータの蓄積を行う。

参考文献

- 1) 内田克己・岡本達希:「CV ケーブル絶縁劣化診断技術」, 電学論 A, 124 巻, 11 号, pp.935-938, (2004)
- 2) 電気協同研究:「地中送電ケーブルの保全技術」, 電気協同研究第 70 巻, 第 1 号, pp.39-45 (2014)
- 3) 高橋俊裕, 宮寄悟, 野沢祐介, 栗原隆史, 牧野裕太, 岡本達希:「電力ケーブルの現場劣化診断のための部分放電測定 of 階層化手法の提案」, 電力中央研究所, No. H14017, (2015).
- 4) 内田克己・穂積直裕・岡本達希:「電力ケーブルの絶縁劣化診断とアセットマネジメント」, 電学誌, 128 巻, 4 号, pp.239-242, (2008)