

支持部材近傍における直流き電ケーブルの劣化メカニズムの解明

電力技術研究部 き電研究室

副主任研究員 赤木 雅陽

1. はじめに

直流き電回路で用いられる電力ケーブル（直流き電ケーブル）において、導体の発熱や経年に依存する劣化とは別に、支持部におけるケーブル表面の損傷や、ケーブルおよび支持部材表面のトラッキング劣化などが発生する場合がある。これらの機械的あるいは電氣的な劣化について、実際の施設状況を考慮して直流き電ケーブルとその支持部材を組み合わせた再現試験を行い、劣化に至る過程を明らかにするとともに、その対策を考案したので紹介する。

2. 直流き電ケーブルにおける機械的損傷モデルと静的加速劣化試験

直流き電ケーブルはウレタンなどの樹脂製支持クリートにて把持固定するが、施工時の引張力やケーブル自体の自重などにより力が掛かる。また、曲がり部（R部：曲線状に配線施工した箇所）は支持クリート近傍に応力が掛かる。図1に応力や損傷の発生が想定される箇所の例を示す。

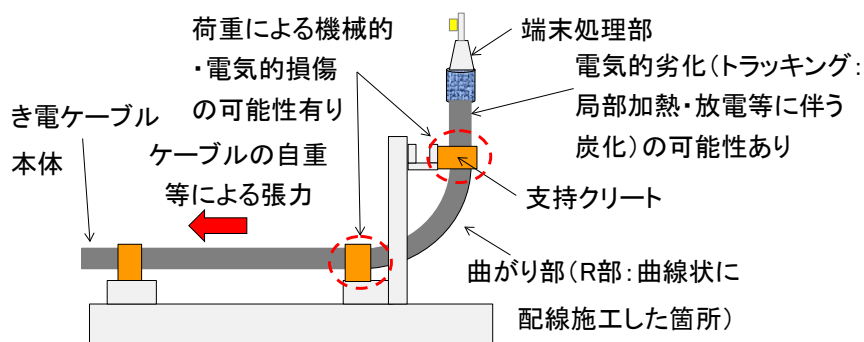
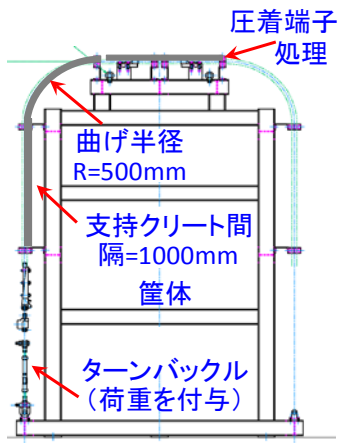


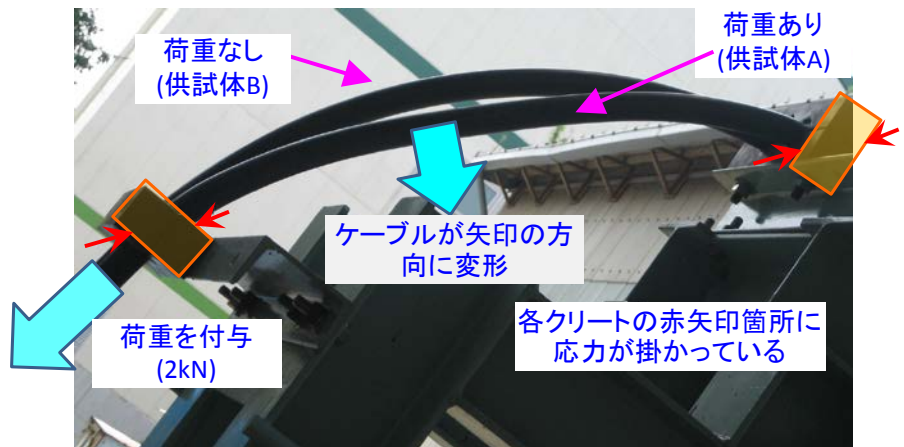
図1 き電ケーブルの応力や損傷の発生が想定される箇所

そこで、ケーブルに応力が加わった際の諸特性を把握する目的で、図2(a)に示す架台を用いて支持クリート近傍部を機械的に加速劣化させた。日本電線工業会が示す施工時の許容張力(4.9kN以下)を参考に、2kNの静的荷重を与えた供試体Aと、荷重を与えない供試体Bの2本を架台に併設した上で2013年6月より6ヶ月間試験を行い、支持クリート近傍での変形状況などを確認した。なお曲がり部は、設計施工標準に示す許容曲げ半径に対して余裕のある曲げ半径500mmとしている。

図2(b)に示すように、供試体Aでは供試体Bと比較すると曲がり部の半径方向(内側方向)に変形していることがわかる。また、一部のクリートでは応力が掛かったことに伴う変形と思われる形跡が見られた。供試ケーブルは、新品の状態では概ね32.7mm~33.0mmの外径であった。それに対して供試体Aでは、R部にかかるクリート箇所において新品の状態に比べ約1mm外径が減少し、かつ圧迫痕が生じた。供試体Bでは顕著な圧迫痕や外径の減少は生じていなかった。本試験での圧迫痕は、表面のシースが裂ける、あるいは絶縁層である架橋ポリエチレンにまで到達する程には進展していなかった。しかし、荷重がかかった状態が長期間継続すると、支持クリート部近傍で直流き電ケーブルの絶縁層にまで傷が付き地絡する可能性が考えられる。



(a) 架台の構造図



(b) 試験開始 2 ヶ月後の状況

図 2 静的荷重試験によるケーブルの機械特性把握

3. き電ケーブル及び支持クREETの電氣的加速劣化試験

汚損環境において、き電ケーブルおよび支持クREETはトラッキングにより電氣的に劣化していくが、具体的な進展過程についてはこれまであまり検討事例がなかった。そこで、鉄道総研の勝木塩害実験所にある直流高圧課電装置を用いて、2013年7月から2014年3月まで約7ヶ月間直流3000Vを連続課電し、トラッキングの再現試験を行った。図3に試験結果を示す。



(a) 課電7ヶ月後の詳細1

(b) 課電7ヶ月後の詳細2

図3 き電分岐ケーブル用支持クREETにおける課電開始後の劣化状況

き電分岐ケーブル用支持クREETの供試体については、塩害の激しい冬期（課電開始から6ヶ月後～7ヶ月後にかけて）に、図3に示すような劣化が急激に進展した。特に支持クREETを締結するボルトと金属板（接地側）から支持クREETの表面を伝う向きのトラッキングが顕著である。また、ケーブル表面も加圧側端子と支持クREETの間で全般的にトラッキングが進展し、接地側と加圧側との間の絶縁抵抗は1MΩ以下まで低下していた（課電終了直後・湿潤状態）。

並行して、新品支持クREETに対して新品ケーブルを組み合わせた供試体A、同様に既にトラッキング劣化している撤去品ケーブルを組み合わせた供試体Bを用い、直流3000Vを加圧した。図4に支持クREET近傍の劣化状況を示す。供試体Aでは、ケーブル表面には加圧側と接地側の間にトラッキングが発生していたが、支持クREET側には顕著な劣化は見られなかった。一方、供試体Bの場合は、支持クREET側に顕著なトラッキングが進展していた。

したがって、ケーブルが先にトラッキング劣化を始め、引き続いて支持クREETが劣化するという進展過程と考えられる。地絡事故のリスクは接地物に近い支持クREET近傍が高いことから、

ケーブル側にトラッキングが出始めた時点で何らかの対策（トラッキング箇所の補修・ケーブルの交換など）をとる必要がある。



(a) 供試体 A(新品ケーブル+支持クリート) (b) 供試体 B(撤去ケーブル+支持クリート)

図4 ケーブルのトラッキングの有無が支持クリートに与える影響

4. 効果的な支持方法・保全方法の検討

2章での検討から、支持クリート近傍におけるケーブルの機械的な劣化は、主に荷重に伴う圧迫に起因することが判明した。そこで、支持クリート近傍において圧迫痕を生じさせにくい手法を検討した。ケーブル仕上がり外径と同等以下の内径のクリートで拘束力を高める手法 A と、ケーブル仕上がり外径より大きい内径のクリートとゴム製緩衝材を組み合わせることでケーブル本体に掛かる力を分散させる手法 B を対象とし、図 5(a)に示す加振装置を用いて機械的劣化の比較試験を行った。試験に際しては、変位±5mm、周波数 2Hz（加速度としては最大 0.79m/s²）で 15 万回の振動の条件を与えている。

その結果、手法 A ではケーブルのビニルシース表面に圧迫痕や局所的な変形が生じていた。一方、手法 B においては、緩衝材側に圧迫痕が生じているもののケーブル側は無傷であり、手法 B が機械的劣化の対策として有効であることを確認した。

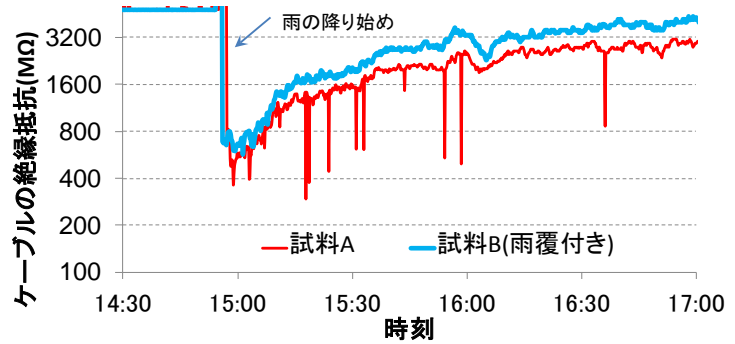


(a) 加振装置への架設状況（手法 B） (b) 加振試験後の供試体の状況（手法 B）

図5 ゴム製緩衝材による機械的損傷抑制効果

次に、3章での測定結果を踏まえ、電氣的劣化の対策として絶縁抵抗低下を抑制する手法を検討した。施工標準に基づいて端末処理をした試料 A のき電ケーブル、および端末処理部に雨覆を付加した試料 B のき電ケーブルについて、塩害地区にある変電所で 2013 年 12 月から約 1 ヶ月半直流 100V を連続加圧しながら絶縁抵抗の経時変化を測定した。その結果、図 6 に示すように試料 B は絶縁抵抗が若干改善することがわかった。

また、大気中における汚損や腐食の進行を計測する手法として近年使用例の多い ACM (Atmospheric Corrosion Monitor) センサーを適用し、測定期間における汚損に伴うセンサーの反応とケーブルの絶縁抵抗との相関関係も同時に観察した。その結果、図 7 に示す様にセンサーの電流値が 10 μ A 前後を示す



(a) 端末処理に雨覆を付加する手法 (試料 B) (b) 雨天時における絶縁抵抗の経時変化

図 6 き電ケーブルの絶縁抵抗特性

あたりから急激に絶縁抵抗が低下することが判明した。絶縁抵抗の低下は漏れ電流の増加、ひいてはトラッキングの進展に繋がることから、重汚損地区では ACM センサーによる汚損監視が有効と考えられる。

なお、絶縁抵抗は連続的に小さな値を示すわけではなく、一時的に減少した後にも絶縁がやや回復することを繰り返している。これは雨洗効果による絶縁回復と汚損の再付着が何度も生じていることに起因すると考えられる。

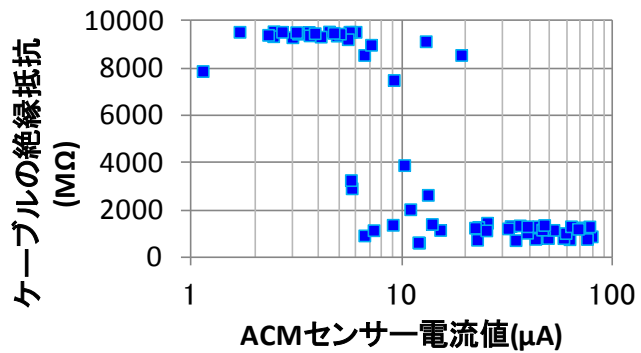


図 7 絶縁抵抗と ACM センサーの応答関係

以上の検討結果に基づき、表 2 のような保全手法が推奨される。

表 2 効果的な保全手法

機械的劣化	目視検査	圧迫痕の有無の確認
		R 部の変形の確認
電氣的劣化	個別検査	ケーブル側のトラッキング観察
	その他	ビーム等～ケーブルのビニルシース間の絶縁抵抗測定
		ACM センサー等を用いた汚損状況の詳細把握

5. まとめ

- (1) 直流き電ケーブルについて、機械的な加速劣化試験を実施した。ケーブルに静的加重が加わることで、支持クリート近傍において圧迫痕が生じる他、支持クリートそのものが変形することを確認した。
- (2) 勝木塩害実験所で電氣的な加速劣化試験を実施し、ケーブルと支持クリートのトラッキングによる電氣的劣化の進展状況を確認した。ケーブル側が既にトラッキング劣化している場合、クリート側の劣化が急激に進展することが判明した。
- (3) 効果的な支持方法や端末処理方法について検討した。機械的には支持クリート内径をケーブル直径よりやや大きい径とした上でケーブルに緩衝材を巻く手法、電氣的には端末処理に雨覆を付加する手法が有効であるといえる。