

OPGWの水浸入障害に対する補修工法の開発

(株)四国総合研究所 電子技術部 徳永 洋一郎
(株)四国総合研究所 電子技術部 松木 一隆
(株)四国総合研究所 電子技術部 阿部 素久
四国電力(株) 送配電カンパニー 通信システム部 西村 浩一

キーワード : OPGW
補修工法
加圧乾燥
減圧乾燥
アタッチメント

Key Words : OPTical fiber composite overhead Ground Wire
Repairing method
Pressurized drying
Vacuum drying
Attachment

Development of repairing method for water penetration in OPGW

Shikoku Research Institute, Inc., Electronics Technology Department.
Yoichiro Tokunaga, Kazutaka Matsugi and Motohisa Abe
Shikoku Electric Power Co., Power Transmission & Distribution Company
Telecommunication Systems Department.
Koichi Nishimura

Abstract

OPGW(Optical fiber composite overhead Ground Wire) is constituting the communication network for electric power companies. In this OPGW, cracks due to metal fatigue arise from vibration caused by strong winds occur in aluminum tubes that contain optical fibers. Rain water infiltrated through cracks may freeze in winter. And frozen water may squeeze the optical fiber and cause communication troubles.

In many cases, the OPGW that includes the crack location connecting joint boxes will be replaced to fix the trouble. This recovery method requires a lot of time and a large cost.

In order to solve this problem, we developed a repairing method to remove infiltrated water and repair cracks. As a result, we succeeded in restoring the function to a level that would not interfere with operation.

1. はじめに

送電線の架空地線に光ファイバを内蔵したOPGW (OPtical fiber composite overhead Ground Wire) は、信頼性が求められる電力保安通信ネットワークを構成する重要な通信基盤である。

OPGW は強固な構造で自然災害等に強い信頼性の高い設備であるが、長期に亘って過酷な自然環境下で運用されるため、強風振動等によりOPGW内部にて光ファイバを収容するアルミ管 (以下「アルミ管」という) に金属疲労による亀裂が生じ、そこから雨水が浸入することがある。この雨水が冬季に凍結・膨張することで、光ファイバを圧迫し、歪みによる回線障害を引き起こすことがある。また、最終的には光ファイバの断心に至ることもある。

回線障害は凍結解消により復旧する 경우가多いが、本障害は繰り返し発生する可能性が非常に高いため、雨水とアルミ管との腐食反応により発生する水素による光伝送損失を検知できる波長 $1.24\mu\text{m}$ のOTDR (Optical Time Domain Reflectometer) により心線の損失を測定¹⁾することで浸水の有無・場所を確認し、必要に応じて通信回線を迂回させるなどの予防保全の取り組みを行っている。

しかし、恒久対策としてOPGWに浸入した雨水を除去することは難しく、断心した場合は、OPGWの張替やGWWOP (架空地線巻付型光ファイバケーブル) の新設による対応が必要となる。これには、資材調達や作業時期の調整などに時間がかかり、異常を認知してから本復旧完了までにかかなりの期間を要する。また、工事には高度な専門技能を有する多数の作業員を複数地点に配置する必要があり、多額の費用が必要となる。

今回、これらの課題を解決するために、アルミ管内に雨水が浸入したものの断心には至っていない状態のOPGWについて、運用上支障のないレベルまで機能回復する補修工法に関する研究を実施したので報告する。

2. 補修工法の内容

OPGWの構造は図1のとおり、中心部にアルミ管内に収納した光ファイバを配置し、これをアルミ覆鋼より線 (AC線) で覆った構造となっている。このアルミ管に発生した亀裂から雨水が浸入し、凍結・膨張することで、光ファイバを圧迫し

歪みによる回線障害を引き起こすことがある。本研究は、図2のとおり、アルミ管内に浸入した雨水を除去 (水抜き・乾燥) した後に、亀裂部から再び雨水が浸入しないように、アルミ管亀裂部の補修を行うものである。

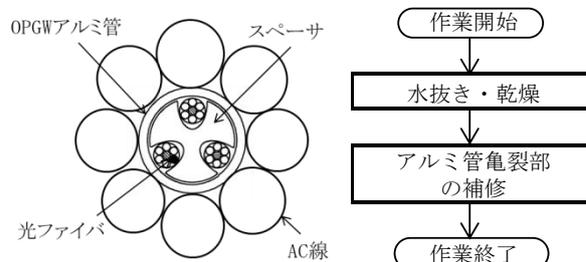


図1 OPGWの構造

図2 補修工法の流れ

水抜き・乾燥工程では、アルミ管内に浸入した雨水を除去する方法として、アルミ管内に窒素ガスや空気などの圧力気体を注入し、管内の雨水や湿潤気体を押し出しながら乾燥を促す方法 (以下「加圧乾燥」という)、アルミ管内の空気を吸引・排気して管内の圧力を下げつつ、もう一方の開放端からの空気の流れで乾燥を促す方法 (以下「減圧乾燥」という) の2つの方法が考えられる。これらの得失を抑えた上で、現場状況に応じて使い分けることができれば、効果的な雨水除去が可能になる。

また、アルミ管亀裂部の補修工程では、再び雨水が浸入しないように亀裂部を塞ぐとともに、運用上支障のないレベルの強度が保てるよう保護・補強を実施する。

これら補修工法の流れに沿って、研究内容を報告する。

3. 水抜き・乾燥

細径かつ長尺のアルミ管はその内部に光ファイバを多数収容する複雑な構造であり、浸入した雨水を短時間で除去するにはかなりの時間を要するため、可能な限り効果的に雨水を除去することが重要となる。

また、アルミ管に浸入した雨水をどの程度の期間で除去できるかは明らかにされておらず、雨水除去の条件とそれに対する必要な時間を見通す手法があれば、復旧計画を策定する上で非常に有用になる。

そこで、加圧乾燥および減圧乾燥を適用して、

アルミ管内に浸入した水を除去する実験を行い、より効果的な条件や、効果を得るまでに必要な時間などを調査した。

3.1 加圧乾燥

(1) 実験方法

長さ 30m の OPGW(スぺーサ型, SM6C×3)アルミ管(内径 3.9mm)の両端に、それぞれの長さが 145m と 135m のナイロンチューブ(内径 2mm)を接続して、全長 310m のアルミ管を模擬した実験設備を構築した(図3)。

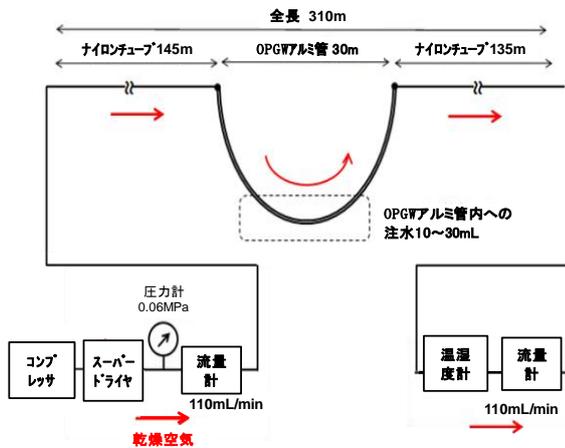


図3 加圧乾燥の実験設備の構成

長さ 30m のアルミ管部分に水を入れ、片端からコンプレッサで圧力 0.06MPa の乾燥空気(流量 110mL/分)を注入し、もう一方の端に出てくる空気の温度と相対湿度を測定する。これにより、ナイロンチューブ出口の湿度変化から、アルミ管内部水の有無等の状態を検知可能にした。

(2) 実験結果

長さ 30m のアルミ管部分への注水量を 10mL, 20mL, 30mL と変えて測定した結果を図4~6に示す。本実験においては、アルミ管内部水が無くなれば、アルミ管内外の湿度はほぼ等しくなり、実験設備のナイロンチューブ出口で測定した相対湿度が最低レベルに下がることから、相対湿度が最低レベルに下がった時点で乾燥が終了したと判断することとした。

また、この実験結果の正当性を確認するため、測定した温度、相対湿度、空気流量などをもとに、次の関係式から乾燥水分量を算出し、図中に青線で表示した。

$$\text{乾燥水分量} = (\text{飽和水蒸気量} \times \text{相対湿度})$$

$$\times \text{空気流量} \times \text{経過時間} \dots [1]$$

この結果、乾燥が完了したと判断した時点の乾燥水分量の計算値が、各々の注水量とほぼ等しくなることが分かり、本実験結果および式[1]の正当性を確認することができた。

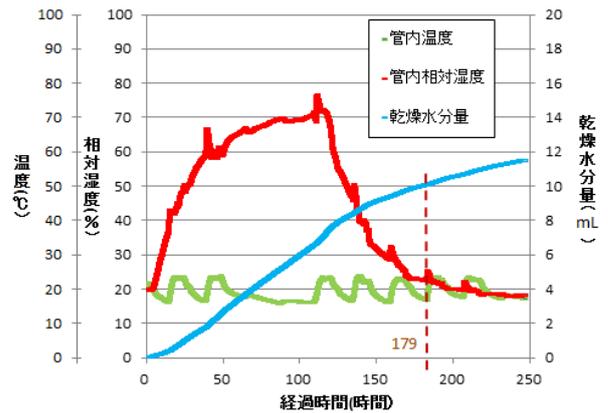


図4 加圧乾燥の実験結果(注水量 10mL の場合)

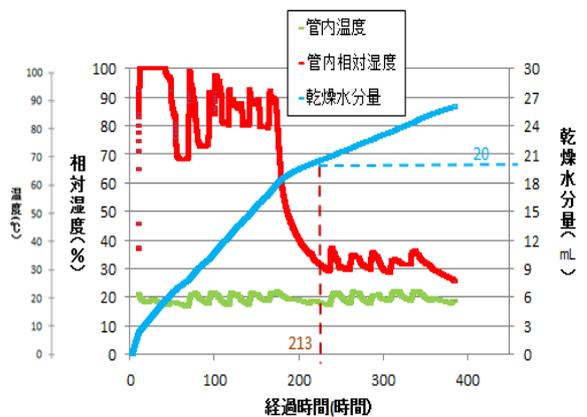


図5 加圧乾燥の実験結果(注水量 20mL の場合)

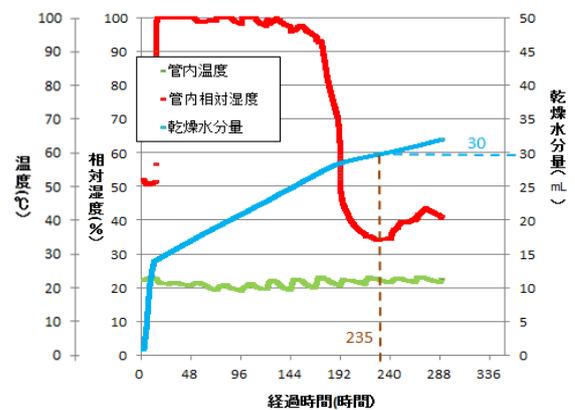


図6 加圧乾燥の実験結果(注水量 30mL の場合)

3.2 減圧乾燥

(1) 実験方法

減圧乾燥では、加圧乾燥のように温湿度計を用いて管内の乾燥状態を推定することはできない。そこで、減圧乾燥を一定時間実施した後、加圧乾燥に切替えて、温度、相対湿度、空気流量などを測定し、その値を前述の式 [1] に代入し、加圧乾燥による乾燥水分量を算出する。注水量が既知であるから、そこから加圧乾燥による乾燥水分量を除けば、減圧乾燥による乾燥水分量を求めることができる。

これを踏まえ、減圧乾燥においても、加圧乾燥と同様、長さ 30m の OPGW アルミ管の両端に、それぞれの長さが 145m および 135m のナイロンチューブを接続したアルミ管を模擬した実験設備を構築した (図 7)。

長さ 30m のアルミ管に水を入れた状態とし、片端を開放した状態で、反対側の端にスクロール型真空ポンプを接続してアルミ管内の空気を吸引・排気する構成とした。また、前述の加圧乾燥の設備も切替えにより測定できる構成とした。

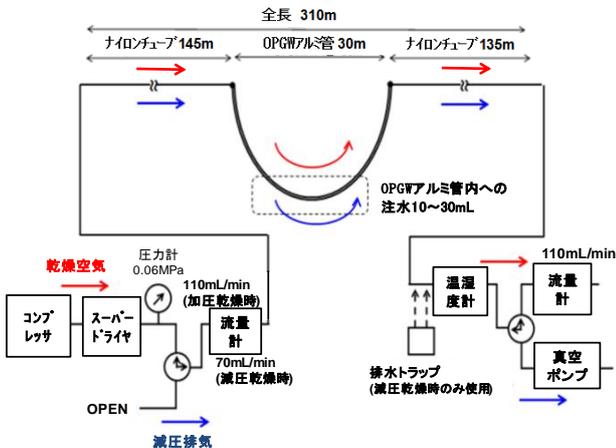


図 7 減圧乾燥の実験設備の構成

(2) 実験結果

長さ 30m のアルミ管への注水量を 10mL, 20mL, 30mL と変えて測定した結果は次のとおりである。

① 注水量 10mL の場合

水 10mL を注水して減圧乾燥を 48 時間実施した後に、加圧乾燥に切替えた時の温度や湿度の測定結果が図 8 である。

加圧乾燥開始後に全体的に湿度が下がった 188

時間経過時点を乾燥が完了した時点と判断した。この時点における加圧乾燥による乾燥水分量は式 [1] から 5.4mL と算定できることから、減圧乾燥による乾燥水分量は 4.6mL と推定した。

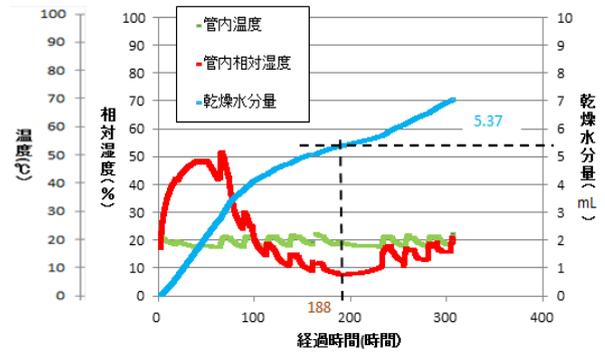


図 8 減圧乾燥後に加圧乾燥した実験結果 (注水量 10mL の場合)

② 注水量 20mL の場合

水 20mL を注水して減圧乾燥を 96 時間実施した後に、加圧乾燥に切替えた時の温度や湿度の測定結果が図 9 である。

加圧乾燥開始後に全体的に湿度が下がった 138 時間経過時点を乾燥が完了した時点と判断した。この時点における加圧乾燥による乾燥水分量は式 [1] から 5.1mL と算定できることから、減圧乾燥による乾燥水分量は 14.9mL と推定した。

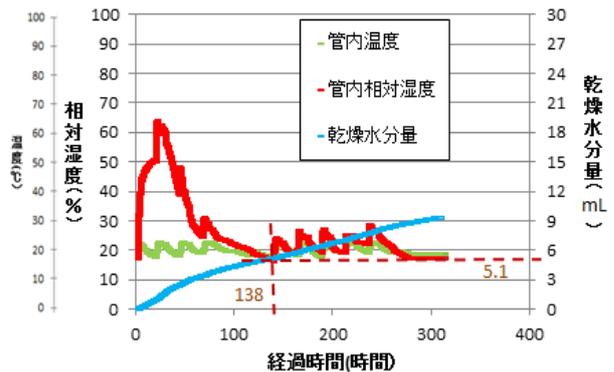


図 9 減圧乾燥後に加圧乾燥した実験結果 (注水量 20mL の場合)

③ 注水量 30mL の場合

水 30mL を注水して減圧乾燥を 144 時間実施した後に、加圧乾燥に切替えた時の温度や湿度の測定結果が図 10 である。

加圧乾燥開始後に全体的に湿度が下がった 92

時間経過時点が乾燥が完了した時点と判断した。この時点における加圧乾燥による乾燥水分量は式 [1] から 2.1mL と算定できることから、減圧乾燥による乾燥水分量は 27.9mL と推定した。

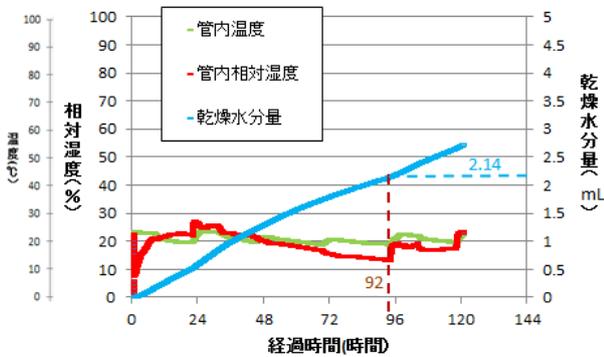


図 10 減圧乾燥後に加圧乾燥した実験結果 (注水量 30mL の場合)

3.3 乾燥効果の比較

加圧乾燥および減圧乾燥の実験結果から単位時間当たりの乾燥水分量を求めたものが表1である。また、横軸に注水量、縦軸に単位時間当たりの乾燥水分量をプロットしたものが図11である。

加圧乾燥・減圧乾燥ともに、注水量が多いほど単位時間当たりの乾燥水分量は多くなる一方、同じ注水量では、減圧乾燥の方が加圧乾燥よりも単位時間当たりの乾燥水分量が多くなった。これは、加圧乾燥・減圧乾燥いずれの場合もアルミ管内の水の位置はほぼ同じ位置としたことから、減圧乾燥による吸引で生じた空気の流れによる乾燥効果の方が、加圧乾燥による排気で生じた空気の流れによる乾燥効果よりも大きかったためと考えられる。

また、長さ一定のアルミ管中に存在する水的位置が違う場合の乾燥効果は次のようになる。

加圧乾燥の場合は、水的位置がアルミ管出口に近いほどアルミ管外に水を排出しやすく乾燥がより速く進む傾向がある。

一方、減圧乾燥の場合は、水的位置が真空ポンプ側に近いほどアルミ管内の圧力が低く気化しやすいため、乾燥がより速く進む。

表 1 単位時間当たりの乾燥水分量

	注水量 [mL]	乾燥水分量 [mL]	乾燥時間 [時間]	単位時間当たりの乾燥水分量 [mL/時間]
加圧乾燥	10	10	179	0.056
	20	20	213	0.094
	30	30	235	0.128
減圧乾燥	10	4.6	48	0.096
	20	14.9	96	0.155
	30	27.9	144	0.194

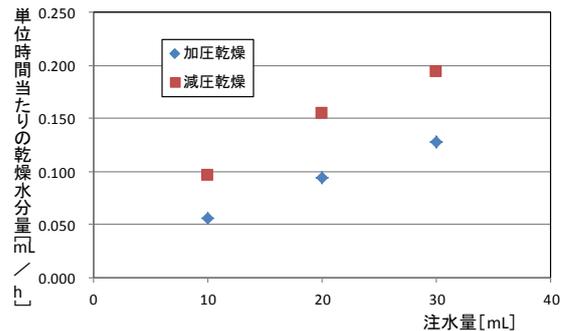


図 11 注水量の違いによる乾燥効果の比較

3.4 フィールド実験による検証

長径間の実フィールド設備に加圧乾燥や減圧乾燥を適用して、次のとおり効果を確認した。

(1) 実験対象設備

実験対象設備は図12のような区間長 1.8km の OPGW (スぺーサ型, SM8C) であり、3号鉄塔付近と6号鉄塔付近の2箇所アルミ管に亀裂があることを事前に確認している。

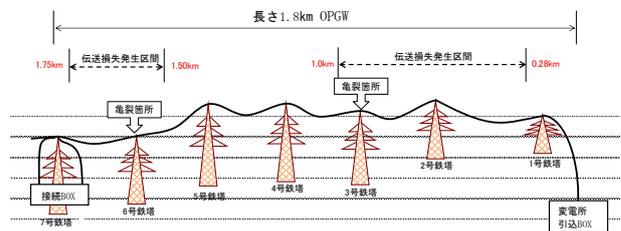


図 12 フィールド実験対象 OPGW の状況

また、波長 1.24 μm の OTDR を用いた測定により、変電所を起点に 0.28km~1.0km の間と、1.50km~1.75km の間に雨水の浸入に伴う水素反応によるものとみられる伝送損失が観測されていた (図13)。

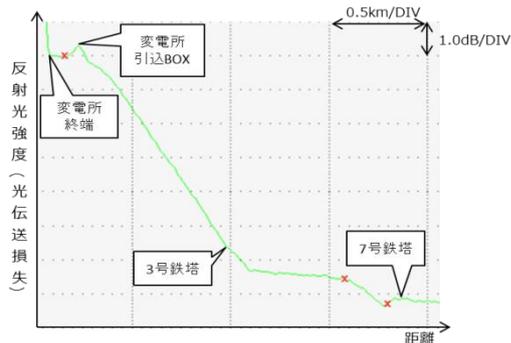


図 13 OTDR (波長 1.24 μm) による測定波形

(2) 実験方法

図 14 のように、変電所引込 BOX 側に主に加圧乾燥や減圧乾燥のためのコンプレッサや真空ポンプ等の主装置類を、また 7 号鉄塔接続 BOX 側に流量計や温度計などの測定器類を、それぞれ収容箱に入れ設置した。

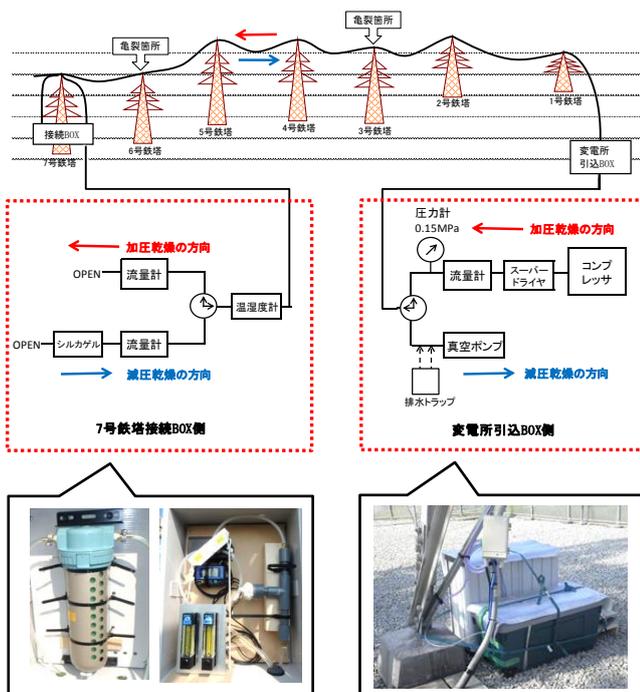


図 14 OPGW フィールド実験の構成

OTDR による伝送損失測定結果および OPGW の高低差の関係等から総合的に考えて、アルミ管に浸入した雨水は、3 号鉄塔の両側 (2~3 号鉄塔の区間、3~4 号鉄塔の区間) および 6 号鉄塔の大番側 (6~7 号鉄塔の区間) に存在するものと考えられた。

このような状況を踏まえ、フィールド実験では、最初は減圧乾燥を用いた水抜き・乾燥を実施する

こととした。これは、2~3 号鉄塔区間の雨水について、真空ポンプ等の機器からの距離が近いことから減圧乾燥の効果が見込めること、また加圧乾燥を先に適用した場合、空気の流れにより 3~4 号鉄塔の区間に雨水が移動する恐れがあったためである。そして減圧乾燥後は、加圧乾燥に切替え、乾燥を継続しつつ、7 号鉄塔接続 BOX 側にて温度や相対湿度などを測定した。

(3) 実験結果

フィールド実験開始後、減圧乾燥をのべ約 11 日間、加圧乾燥をのべ約 80 日間実施した。この加圧乾燥実施中、7 号鉄塔接続 BOX 側にて空気の出口流量を計測したが、有効な値は計測できなかった。これは、変電所引込 BOX から注入した空気が、既知の 2 箇所亀裂部で漏れ出し、7 号鉄塔接続 BOX の管出口まで十分届かず、出口流量が計測不能となったためと考えられた。

このため、アルミ管内の水除去 (乾燥) の状況は、波長 1.24 μm の OTDR による伝送損失状態変化から推定することとした。

減圧乾燥 (のべ約 11 日間) と加圧乾燥① (のべ約 25 日間) 後に、OTDR 測定波形から水素反応による光伝送損失が一旦消えたものの、図 15 のとおり、加圧乾燥①を停止して 13 日後には 3~4 号鉄塔の区間で再び 0.5 dB 程度の光伝送損失が発生した。これは、フィールド実験開始前にも光伝送損失が観測された 3~4 号鉄塔の区間にあたり、当該区間の未乾燥分の浸入水が再反応したものと予想した。

そこで、さらに加圧乾燥② (のべ約 55 日間) を延長して実施した結果、水素反応による光伝送損失は消え、さらに 3 ヶ月経っても再反応は発生しなかった。

ただ、波長 1.24 μm の OTDR による測定結果だけでは、アルミ管内に水分が残った状態で水素の再反応が発生しなかったことも考えられる²⁾。このため、式 [1] を用い、フィールド実験による管入口から最初の亀裂がある 1~3 号鉄塔間における乾燥水分量を試算した。試算にあたっては、管出口の相対湿度等は測定不能であったため、管出口での空気の相対湿度を実験結果から 80% と仮定した。そして、管入口で測定した流量や温度、乾燥時間を用いて計算した結果、乾燥水分量は約

200mL と試算された。この値は、別途実施したアルミ管亀裂に対する降水実験の結果から想定できた年間浸入水分量（約25mL）よりも十分に大きな値であることから、試算上でも完全に乾燥したと推定できる。

以上より、OTDR による測定結果および試算した乾燥水分量などを考慮した結果、1～3 号鉄塔の区間は十分に水除去ができたと判断した。

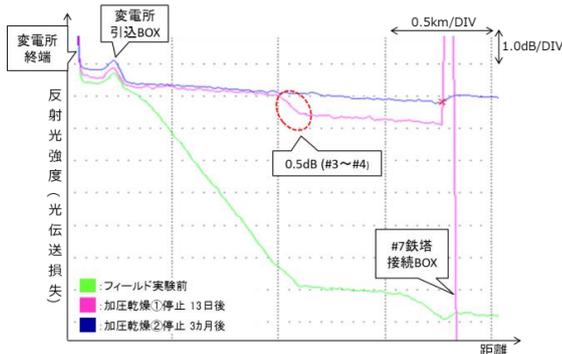


図 15 フィールド実験での OTDR 測定結果

3.5 光ファイバ無切断用アタッチメント

加圧乾燥や気密試験の際に、光ファイバを切断することなく、アルミ管の中に窒素ガスや乾燥空気を注入できるアタッチメントを開発した。

開発したアタッチメントは、OPGW 接続箱のアルミ管口に装着する「OPGW 接続箱用（図16）」とアルミ管亀裂部に装着する「屋外ジャンパ部用（図17）」の 2 種類である。

材質には、弾力性のあるウレタンゴム（硬度 50°）を用いた。

このアタッチメントを使用する際は、アルミ管および光ファイバの接触部にリチウムグリスを十分に塗布して両側から挟み込み、気密性向上を図る。



図 16 OPGW 接続箱用アタッチメント



図 17 屋外ジャンパ部用アタッチメント

今回開発したアタッチメントが、加圧乾燥や気密試験に必要な気密性を有することを、次のような試験を実施して確認した。

図 18～19 に示すようにアタッチメントを装着して、コンプレッサでアルミ管内へ注入する空気圧力を 0.3MPa まで徐々に上げていき、空気漏れがないことを確認するとともに、コンプレッサからの空気注入口を閉じた状態にして 24 時間気密が保てることを確認した。

また、同様に空気圧力を 0.3MPa まで徐々に上げ、OTDR を用いて確認した結果、アタッチメント周辺に光ファイバを圧迫したような光伝送損失は観測されることなく、光ファイバに影響がないことを確認した。

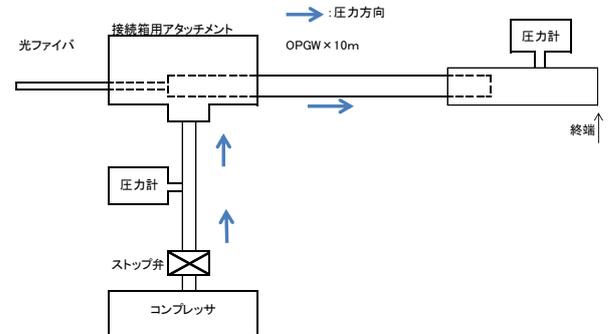


図 18 OPGW 接続箱用アタッチメントの気密試験

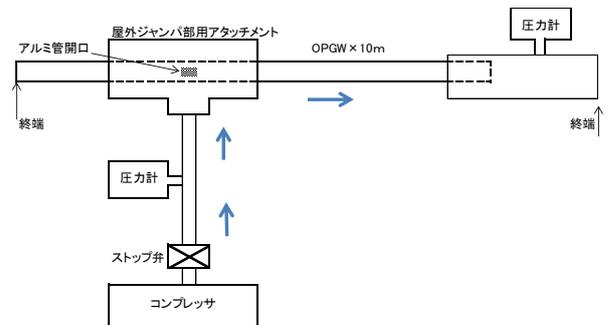


図 19 屋外ジャンパ部用アタッチメントの気密試験

4. アルミ管亀裂部の補修

水除去の完了後、アルミ管内に再び水が浸入しないようにする亀裂部の補修工法の手順と、その効果を評価した結果は次のとおりである。

4.1 補修手順

図20のように、アルミ管亀裂部の補修は次の手順で実施する。

- ①アルミ管亀裂部の養生・清掃
アルミ管亀裂開口部からゴミや不純物が混入しないように養生して清掃する。
- ②亀裂開口部の閉塞・保護
養生テープを剥がし、気密保持材・防水材により亀裂開口部を閉塞・保護する。
- ③閉塞・保護処置の補強
気密保持材・防水材を覆うように、半割れアルミ管を張り合わせ、接着剤、ケブラー繊維を使い貼り合せて補強する。
- ④AC線のより戻し
ほどいたAC線をより戻す。
- ⑤アーマーロッドの巻き付け
AC線切断部を中心にアーマーロッドを巻き付け、より戻したAC線を補強する。

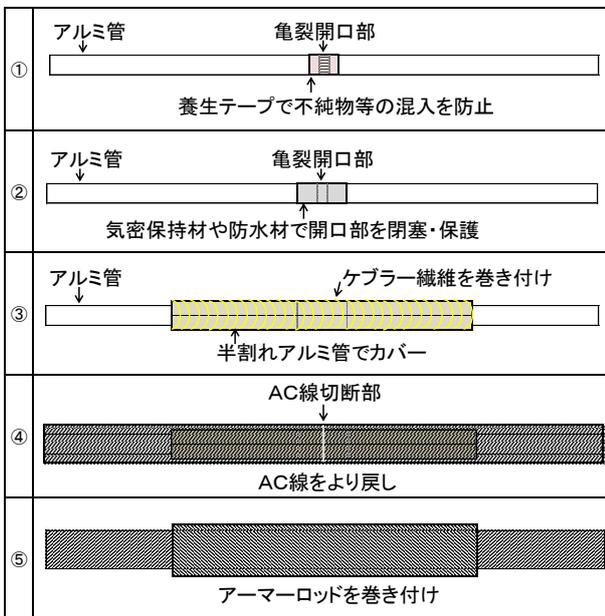


図20 アルミ管亀裂部の補修手順

4.2 補修部位の評価

アルミ管亀裂部に補修を施し、加振試験や耐候性試験を行って、補修部位で補修効果が保持でき

ることを確認した。

なお、この加振試験条件、および、耐候性試験の一つとして実施した温度変化試験条件はそれぞれ表2、表3のとおりである。

表2 加振試験条件

項目	条件
振幅	±1.5mm
振動回数	10 ⁷ 回
振動周波数	41Hz
加振位置	アーマーロッド端部

表3 温度変化試験条件

試験項目	温度(°C)	時間(h)
低温維持	-40	3
温度上昇	-40→80	3
高温維持	80	3
温度下降	80→-40	3

5. 現場事情を踏まえた補修工法の選定・適用

実環境において、OPGW 障害位置やその設備場所、周辺環境等は多種多様であり、現場毎の事情を勘案しながら補修工法を選定・適用する必要がある。そこで、前述した実験結果等から、水抜き・乾燥工法の選定の考え方を整理したものが図21である。

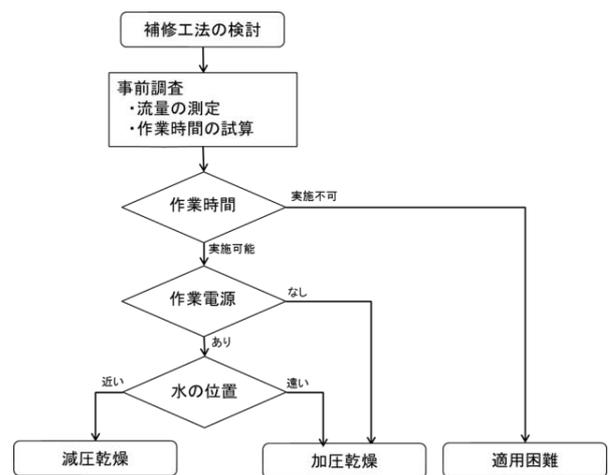


図21 水抜き・乾燥工法の選定の考え方

作業時間については、年1回の点検でOPGWへの雨水浸入を発見した場合、対象OPGWの乾燥空気流量を事前調査することや、式[1]の浸水量を年間水浸入量(25mL)と同じとおくことにより

$$\text{乾燥時間} = \frac{\text{浸水量 (25mL)}}{\text{飽和水蒸気量} \times \text{相対湿度} \times \text{乾燥空気流量}}$$

の関係式から試算することができる。

また、作業電源確保の観点から考えると、加圧乾燥では図22のとおり、減圧乾燥では図23のとおりコンプレッサ、真空ポンプ等の主装置類を設置する側には電源が不可欠であることから、作業電源が準備できるかどうか判断基準となる。ただ、OPGWの多くは山間僻地にあつて電源確保が容易ではないことから、そのような場合は、加圧乾燥のコンプレッサの代替手段として、窒素ガスポンプを利用する。

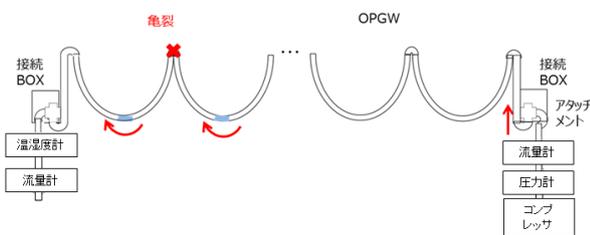


図22 加圧乾燥の適用イメージ

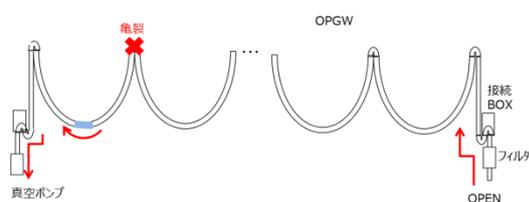


図23 減圧乾燥の適用イメージ

アルミ管亀裂位置や浸水区間の位置関係などから、浸入した雨水の存在が予想される区間から離れた地点に機器をおいて水抜き・乾燥する場合は加圧乾燥を、逆に近い地点に機器をおいて水抜き・乾燥する場合は減圧乾燥の適用を検討することが、より速く乾燥を進める上で必要である。

また、アルミ管内に存在する雨水を遠近どちら側に誘導するかについても、工法の選定・適用の重要な判断ポイントとなる。

6. まとめ

アルミ管亀裂部からの水浸入障害について、復旧にかかる期間短縮とコスト削減をねらいに、水除去や亀裂部補修を行い、運用上支障のないレベ

ルまで機能回復を図る補修工法の研究を行った。

そして、補修の大半を占める水除去の期間を通す方法や、水除去を効果的に実施する手法等を明らかにした。

また、条件に合った方法を適切に選定・適用することで、長径間の実フィールド設備でも適用可能なケースがあることを確認した。

さらに、加圧乾燥や気密試験の際に、光ファイバを切断することなく OPGW アルミ管の中に窒素ガスや乾燥空気を注入できるアタッチメントを開発した。

【謝辞】

本研究は、四国電力(株)送配電カンパニー通信システム部殿より委託を受け実施したもので、ご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 高田諭, “アルミ管破損箇所特定方法に関する研究”, 電気学会通信研究会, CMN-07-4, pp. 17-20.
- 2) 森村俊, “1.24/1.625 μm 光伝送損失測定による OPGW 浸水凍結障害検出”, 電気学会通信研究会, CMN-17-022, pp. 101-106.