

引上げ管内の溜水凍結による光ケーブル損傷の発生メカニズムについて

NTT東日本 ネットワーク事業推進本部 サービス運営部
技術協力センター アクセス技術担当

1. 背景

地下ケーブルを地上に引き上げる際には、電柱に引上げ管を取り付けますが、その内部において光ケーブルが損傷し断線する故障が発生しました。

寒冷地では、引上げ管内に溜まった水の凍結により、通信ケーブルが損傷を受けることを防止するために、浸水を防止する防水用キャップや、ケーブルに対する緩衝材となるPE製パイプを一緒に敷設する対策が取られています。

しかし、実際の環境において引上げ管内の溜水の凍結がどのように作用して、管内部に敷設された光ケーブルに損傷を与えるかはわかっていません。そこで、引上げ管内に溜まった水の凍結による通信ケーブルへの

影響について検証を行いました。

2. 損傷状況と設備概要

今回注目した光ケーブルの損傷事例は、架空ルートの一部を地下化し道路横断させた区間（サイホン区間）の引上げ管内において発生しました（図1）。

当該ケーブルを回収し外観調査したところ、引上げ管の上端60cmの範囲で損傷しており（図1）、外被が長手方向に引き裂かれ内部の心線が露出した状態（図2 a・c・d）および、露出部分の上部は外被が圧縮されて裂けて広がったような状態でした（図2 b）。

また、PE製パイプについても、引き裂かれた損傷と加圧により潰され破裂した損傷が確認できました

（図2 e）。

さらに、引上げ管口の防水用キャップの先端に損傷が見られ、現地調査時には引上げ管口は氷塊で塞がれている状況でした（図2 f）。

3. 検証

引上げ管口付近に氷塊が確認されたことを踏まえ、溜水の凍結が光ケーブルおよびPE製パイプに与える影響について検証を行いました。

(1) 溜水の凍結と解凍

引上げ管内の溜水の凍結の影響を確認するため、大型の恒温槽内に引上げ管を模擬した設備を作成しました。図3に示すとおり、実際の引上げ管と同じ鉄鋼（SA）管を恒温槽内に設置し、管内に光ケーブルとPE製パイプおよび水を挿入して、現場の環境を模擬しました。

恒温槽の温度は、発生個所の気象環境に合わせ -15°C ～ $+10^{\circ}\text{C}$ を繰り返す設定として検証を実施しました。なお、引上げ管の最下部は、地下の区間では凍結することはないと想定し、管路ヒータ※1を用いてそれを再現する構成としました。

また、溜水の凍結膨張によって上

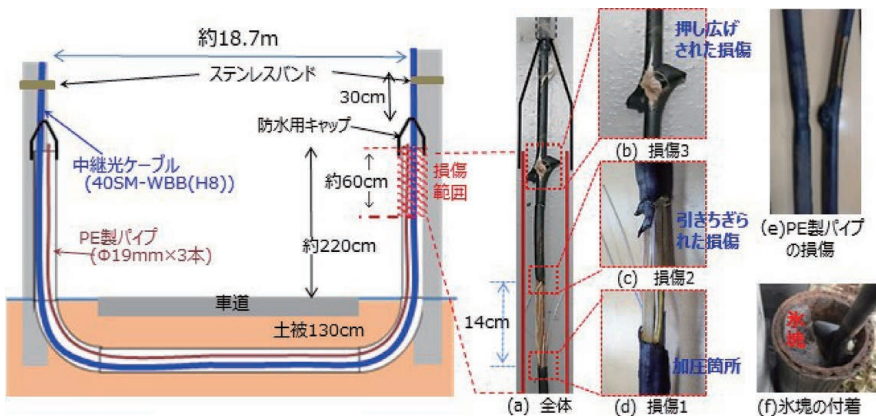


図1 設備状況

図2 損傷状況

※1 水道管の凍結防止用の帯状のヒータ

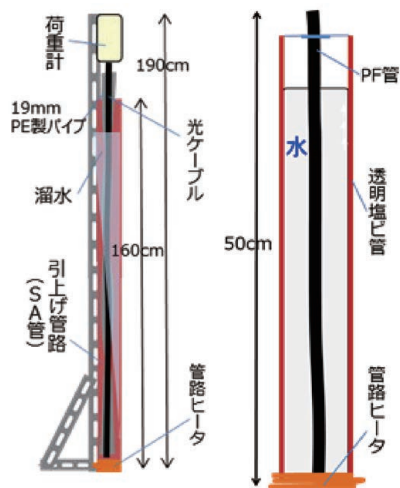


図3 引上げ管路 再現系

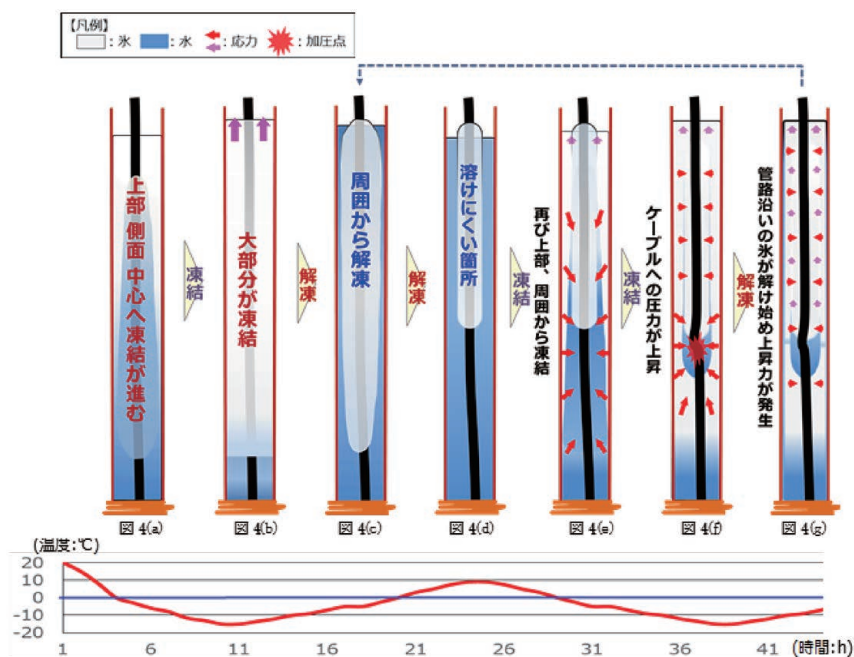


図4(h) 温度変化

下方向に加わる応力を測定するため、光ケーブルの上部の先端には、荷重計を取り付けました。

検証の結果、ヒータ部を除く大部分の管内の水を凍結させた後、解冻させていくと、光ケーブルおよびPE製パイプは1.7cm上昇しました。

また、溜水が解冻されていく過程で光ケーブル先端が最大約780Nで上向き力で引っ張られていることが、荷重計により計測されました。なお、高い上向きの力は最低温度の-15℃時ではなく、常にその後の温度上昇時の過程で記録されました。

この結果から、引上げ管内の溜水が凍結、解冻することによって、光ケーブルとPE製パイプを上昇させる方向に力が生じていることがわかりました。

また、その上部に確認された外被が押し広げられたような損傷(図2 d)は、引上げ管外の光ケーブルは上向きに押されるため、電柱に固定されていた点に向かって下方から繰り返し押し上げられたことにより発生したと考えられます。

(2) 引上げ管内部の観察

(1)の検証結果を踏まえ、引上げ管内部で起こる変化や影響を確認するため、引上げ管を模擬した透明塩化

ビニル管にケーブルを模擬したフレキシブルPF管を挿入し、そこに水を入れた模擬設備を恒温槽内に設置し、凍結と解冻を繰り返すことで内部の様子を観察しました(図4)。

なお、恒温槽内の設定温度は、(1)の検証同様に-15℃~+10℃とし、地下区間の未凍結部を模擬するため透明塩化ビニル管の最下部には管路ヒータを取り付け、PF管の上部は、事象発生時のケーブルがステンレスバンドで電柱に固定されていた状況と同様に、管口で固定しました。

図4の構成で凍結、解冻を繰り返した結果を以下、および図4 a~hに示します。

結果1：凍結は管内の上部から、側面、下部、中心部へ進行し、ヒータ部付近を除く大部分が凍結(水面(図4 a)が約2.5cm上昇)しました(図4 b)。

結果2：全て凍結した状態から温度を徐々に上昇させていくと、周囲から解冻が進みPF管を包むように中心から上部に氷が残る状態となりました(図4 d)。



図5 応力が集中し変形したPF管の一部

結果3：結果2の状態から再び凍結させていく^{※2}と、中心部から上部に残った氷に加え、新たな氷が外側から生成されるとともに再び水面が上昇しました(図4 e・f)。また、残った氷と新たに生成された氷との間の未凍結部において、PF管が加圧され押し潰されたような変形が認められました(図4 f・図5)。

※2 寒冷地の環境を考慮し、日中に全ての氷が解けずに、再び気温が低下して凍結が進行していくことを想定。

4. 考察

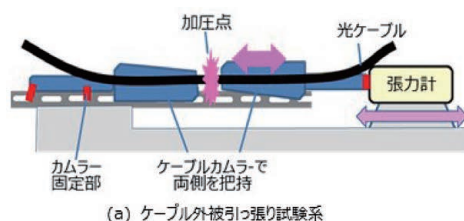
2つの検証の結果から、引上げ管に敷設された光ケーブルは、管内に雨水などが浸入し、充満した水が凍結と解凍を繰り返す過程において、①上部および中心付近に残った水がケーブルを掴んだ状態で凝固、②その後の新たな凍結による周囲からの凍結膨張圧により未凍結部の内圧が上昇（図4～6）、③温度上昇に伴い周囲の氷が解け始め（図4～7）、光ケーブルはその内圧が解放される際に氷につかまれた状態のまま、内圧の逃げ道となる上部方向へ加压点を起点に押し上げられていたと考えられます。

そのため、凍結、解凍の繰り返しにより、引上げ管内の光ファイバケーブルは上向きに引っ張られ、引上げ管外のケーブル部分は電柱に固定されている点に向かって押しつぶされるような力が働いていたと考えられます。

なお、検証(1)において高い上昇力が記録された点が、最低温度時ではなく温度上昇の途中であったのは、一部解凍された状態になることで、それまで引上げ管内部にかかっていた圧力が解放され、逃げ道である上部方向へ押し上げたことで発生していたと推察します。

5. ケーブル外被損傷の再現

3. (1)の検証において、鉄鋼管内の水が凍結してから解凍していく過程で光ケーブルが約780Nの力で押し上げられていたことから、冬季期間に凍結と解凍が繰り返された場合



(b) 引きちぎられたケーブル外被

図6 ケーブル外被の引張試験

の引っ張り力が、光ケーブル外被の損傷を与えるのかを検証するため、ケーブルの片端を固定した状態で他端を780Nの力で引く試験を行いました（図6）。

なお、検証は凍結と解凍が繰り返される状況を想定し、張力を加圧する一緩める（開放する）を繰り返す条件で実施しました。

試験の結果、張力の加圧と緩和を繰り返すことにより35回目で外被に損傷が生じ、さらに繰り返していくことで外被は徐々に引きちぎられました（図6 b）。

6. まとめ（結論）

寒冷地における引上げ管の区間での光ケーブルやPE製パイプの損傷／断線故障について調査を行いました。その結果、引上げ管の中に何らかの理由で浸入した雨水等が、凍結一解凍を繰り返すことにより、水から氷に代わる際の膨張で内部に圧力が生じ、解凍時に光ケーブルを押し上げる力やPF管を変形させる力が働くことが確認できました。

また、凍結、解凍を繰り返すことによって、光ケーブルの外被やPE製パイプが引きちぎられるように損傷し、最終的には光ファイバの断線故障に至ることがわかりました。

お・知・ら・せ

【Pエリア・協業エリアの皆様へ：OJT募集について】

NTT東日本技術協力センターでは、Pエリア・協業エリアの保守に従事する通信建設会社の皆様に対し、OJTとして来ていただける方を募集しております。

OJTでは、アドバイザーの指導のもと、基礎知識や各種測定器の使い方に加え、故障現場での切り分けノウハウの習得等を通じて、高度かつ専門的な技術力の向上を目指します。また、期間、内容等については、ご要望に応える形で決めていますので、OJTについてのご質問・お問合せは、下記の連絡先までお気軽にご相談ください。

電話 03-5480-3711

メール gikyo-ml@east.ntt.co.jp

◆技術相談の問合せ先

NTT東日本 ネットワーク事業推進本部 サービス運営部 技術協力センター

アクセス技術担当 03-5480-3701 [光・メタルケーブル設備、光アクセスシステム 等]

ネットインターフェース技術担当 03-5480-3702 [電話／各種NWサービス故障対応 等]

材料技術担当 03-5480-3703 [腐食・防食、材料劣化、延命対策 等]

EMC技術担当 03-5480-3704 [無線LAN、ノイズ・雑音、誘導対策、雷害対策 等]