

第67回(2023年度) 北海道開発技術研究発表会論文

網走管内における冬期光ケーブル障害について —過年度障害事例及び管路凍結実験からの一考察—

網走開発建設部 北見河川事務所 鹿ノ子ダム管理支所 ○小笠原 佑太
施設整備課 小野寺 崇

北海道開発局では様々な電気通信設備を整備しており、それらを運用するための通信路として光ケーブル・多重無線設備による統合通信網を構築している。網走開発建設部においては、冬期間に光ケーブルの屈曲を伴う障害が度々発生しており、対処に苦慮しているところである。本稿ではその原因究明のため行った管路の凍結実験について、報告する。

キーワード：光ケーブル、障害対応、管路凍結

1. はじめに

北海道開発局では CCTV、情報表示装置、テレメータ等の電気通信設備により情報の提供を行っており、それらの通信路として「統合通信網」が整備されている。統合通信網は、光ファイバ通信網と多重無線通信網により構成されるネットワーク¹⁾で、平常時は高速大容量を伝送できる光ファイバ通信網が機能し、災害時に光ケーブルに断線が起こった場合でも多重無線設備に迂回する仕組みになっており、いかなる時でも確実に情報伝送が行える高い信頼性を有している。網走開発建設部においても前述の設備の通信を網羅するように光ケーブルが敷設されており、内外問わず迅速な情報発信を行っているところである。令和2年2月、網走市内の一部区間で光ケーブルの線路障害を検知し、調査を行ったところ、ケーブルが大きく座屈した状態となっていた。(写真-1)さらに過去の障害歴を調べると、同一区間と思われる箇所では平成24年よりも以前から冬期に光ケーブルの損失が増加する現象が起こっており、平成27年には引き抜いた光ケーブルが座屈しているという同様の障害があったことが判明した。そこで我々は、障害が冬期間に生じている点に着目し、ケーブル管路への水や泥の浸入及び凍結に起因するものと仮定し障害の再現実験を行ったので、その結果の報告と考察を行う。

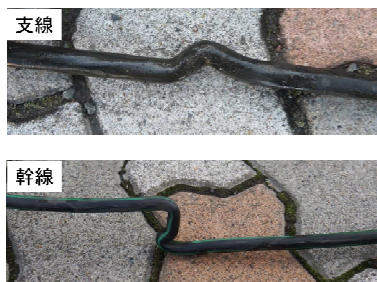


写真-1 光ケーブルの座屈状況

2. 網走開発建設部における光ケーブル凍結障害と関連した既往研究

前項で記述した光ケーブルの線路障害は網走本部～斜里除雪ST間で生じたものであり、障害にかかる主な時系列は表-1のとおりである。

表-1 光ケーブル障害の時系列

年度	障害・対応事項
～平成24年度まで	同区間の支線系光ケーブルにおいて、冬期になると光ファイバ線路監視装置にて障害が発生。夏期に復旧という事象が続く。
平成25年度	幹線系光ケーブルにおいても障害が発生する。
平成26年度	夏期になっても障害が復旧しなかったため、浸水センサの取替を実施。当該障害がクロージャ間で発生していることが判明。障害区間に凍結障害防止用PEパイプを投入する。
平成27年度	支線系光ケーブルの張替を実施。引き抜いた既設ケーブルが座屈している状態を確認する。
平成28年度	障害区間を掘削したが、埋設管路には問題ないことを確認する。
令和2年2月10日	支線系及び幹線系光ケーブルにて障害が発生する。
令和2年2月21日	障害地点の情報ボックス管路の調査を試みたが、凍結のため障害箇所の特定に至らなかった。
令和2年2月28日	仮復旧に向けた設計調査を行う。
令和2年3月19日	架空配線へ移設し仮復旧させる。
令和2年10月27日	障害調査により支線系光ケーブルを引き抜いたところ、H27年度の時と同様の座屈がみられた。
令和3年9月14日	幹線系光ケーブルについても引き抜きを行ったところ、同様の座屈がみられた。

平成24年度までは冬期に生じた障害も夏期には復旧してしまう点や、冬期はハンドホール内の滞留水が凍結しており管路を調査できない状況となることから経過観察を行っていたが、平成25年度時に発生した障害が翌年度になっても復旧しなかったことから調査対応を行っている。更に平成27年度に支線系光ケーブルの張替えを実施したところ、座屈している状況であることが判明、平成28年度には障害区間の掘削により管路を調査したが、健全な状態であることが分かっている。

一連の障害発生状況を整理すると以下の要因が推察される。

- (i) 障害の直接的な発生原因はケーブルの座屈によるものであること
- (ii) 管路が健全な状態であったことから、ケーブルが座屈したことについて、管路の外からの力には起因していない可能性が高いこと
- (iii) 冬期間に発生することから、低気温で生じる事象が起因すること及び、当該区間にはハンドホール滞留水が存在することから水の凍結に起因する可能性が考えられること

以上の推察から我々は、冬期間における管路内の溜水凍結がケーブルに対し力を及ぼし、結果ケーブルの座屈に至ったと仮定した。管路内の溜水凍結による障害は、寒冷地においては十分に考慮すべき事項であり、これらに着目した研究も行われている。例えば寒地土木研究所の岩田らは直線的に敷設された光ケーブル管路内滞留水の凍結実験を行い、凍結により生じる圧力がケーブルの使用に影響を及ぼしていないことを確認している²⁾。また、大竹らは、曲線を含めた光ケーブル管路でのパターンについても検証を行い、地中敷設管路内において、滞留水の凍結膨張は管に沿って生じており、付随して発生する圧力は主に管口や滞留水のない空洞に向けてかかるためケーブルへは作用しにくいという結論に至っている³⁾。一方で、管路の形状や長さに応じた環境の違いによって凍結メカニズムの変化や、それによりケーブルに対し影響が生じる可能性についても言及されている。中でも、凍結膨張による圧力が空洞に作用することによりケーブルが変形する場合に例として挙げられているイメージが今回網走で生じた光ケーブルの座屈状況と酷似していることから、我々は空洞で成長する氷の及ぼす力がケーブルを管路内側へ押し込む作用をもたらしていると推察し、この状況に特化した凍結実験を行うことにした。

3. 管路凍結実験

実験の概要を表-2及び図-1に示す。本実験では光ケーブルのみを入れた管路と、光ケーブルと凍結障害防止用

PEパイプを入れた管路の2種類の供試体を用いており、実験期間中は管路の凍結と解凍を繰り返し、見た目での変化を観測するものとした。本実験では、障害区間と同様のケーブルとしてSM-100Cとした。また、網走での障害の経緯から、2つある内一方の管路には凍結障害防止用PEパイプと一緒に敷設している。管路については凍結状況を確認するため透明なVU管(50A)を用いており、経路は両端の立ち上げ部に90度、供試体中央付近に上向きに勾配をつけ空洞を作るために45度の曲げをもたせている(図-1 A)。滞留水は両側の管口から注ぎ、管中央の傾斜部で両端水位を合わせるようにした。実験場は降雪と風の影響を受けないかつ自然凍結が行えるよう平均気温が低い場所として、網走開発建設部 北見河川事務所 鹿ノ子ダム管理支所の艇庫を選定した。実験期間は2022年12月1日から2023年3月10日までとした。期間中の艇庫内の気温グラフを図-2に示す。

表-2 実験概要

実験期間	2022年12月1日～2023年3月10日	
実験場所	網走開発建設部 北見河川事務所 鹿ノ子ダム管理支所 艇庫	
供試体	ケーブル	供試体1：光ケーブルSM-100C 供試体2：光ケーブルSM-100C +凍結障害防止用PEパイプ
	管路材料	透明VU管(50A)
	管路形状	図-1のとおり(供試体1と2で管路の形状と滞留水の量は共通)

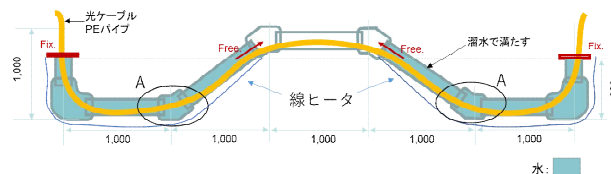


図-1 管路凍結実験管路形状図

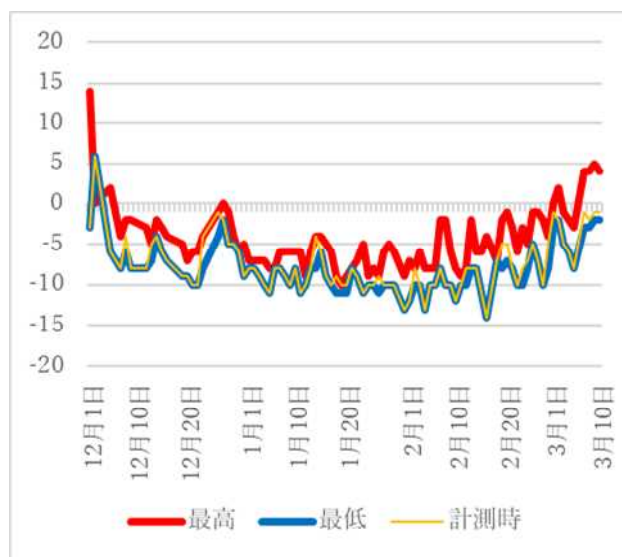


図-2 実験時の気温の推移



写真-2 線ヒータ敷設状況

気温計測にはU字型最高最低温度計を用いており、実験期間中の毎朝8時に計測を行った。また実験期間中の気温では滞留水の自然解凍は困難なため、線ヒータを管路の外から沿わせたり、巻き付けることで熱を供給し、さらに断熱材で覆い保温を行うことで解凍させることとした(写真-2)。

4. 実験結果

滞留水の凍結と解凍は、実際の環境では管路一帯に一樣に起こるとは断定できないため、本実験では「全凍結解凍」、「管路の中央先端にのみ氷を残す」、「管路の中央部分と管口の氷を残す」の3パターンの条件を想定して実験を行った。

(1) 全凍結・解凍パターン(12月1日～1月20日)

始めの期間は管路全体を凍結させ、また解凍時も滞留水全体を温めるようにした。凍結時は体積の膨張により写真-3のとおり管路の内側及び管口側へ氷が広がっていくことが確認できた。しかし、氷の生成によってケーブルが押し出されるといった現象を確認することは出来なかった。また、凍結と解凍を繰り返す中で管路の曲線部分から水が漏れ出すようになり、特に光ケーブルのみを入れている管路では、凍結による膨張により管路の破損が確認された(写真-4)。このままでは実験の継続が困難な状態であったため、曲線部分の管路を新しいものに換え、実験を続行した。

(2) 管路の中央先端にのみ氷を残す(1月21日～2月17日)

続いて、解凍時に管路中央の滞留水先端部分のみを凍らせた状態で凍結と解凍を繰り返した(図-3)。これによるケーブルの変形は確認できなかったが、凍結時に凍結障害防止用PEパイプが変形していることを目視で確認できた(写真-5)。一方光ケーブルのみを入れた管路は

「全凍結・解凍パターン」と同様に管路曲線部分の漏水と破損が発生した。今回用いた供試体では滞留水の凍結圧力に耐えることができないことが確認できたため、以降は光ケーブルと凍結障害防止用PEパイプを入れた管路のみで実験を行うこととした。

(3) 管路中央部と管口の氷を残す(2月18日～3月10日)

最後に、管路の中央部分と管口を先に凍結させ、遅れて底面部分を凍結させる実験を行った(図-3)。

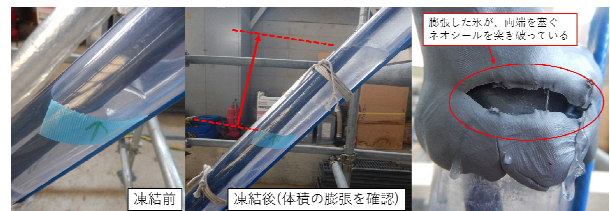


写真-3 凍結膨張(左:管路中央側, 右:管口側)



写真-4 凍結膨張による管路の破損

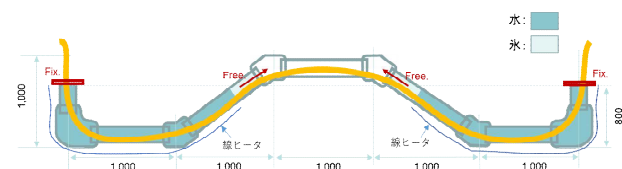


図-3 管路の中央先端のみ氷を残す場合の実験概要

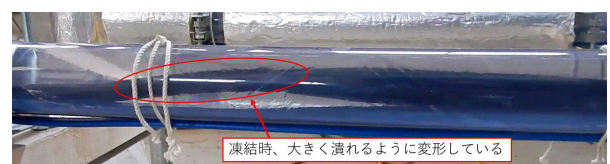


写真-5 凍結障害防止用PEパイプの変形

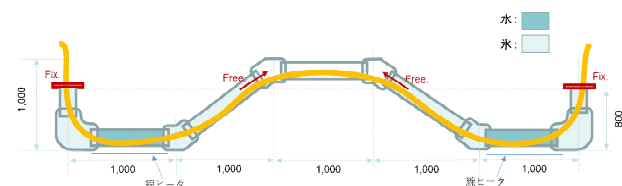


図-3 管路の中央部分と管口の氷を残す場合の実験概要

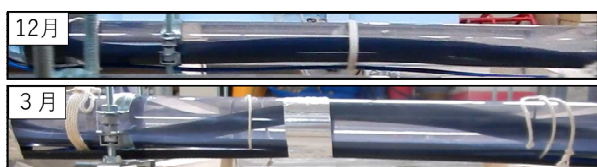


写真-6 12月と3月時点での比較(解凍時)

この実験においてもケーブルの変形は確認出来なかった。底面部分の凍結障害防止用PEパイプは、凍結時は先の二つの実験よりも顕著に変形していることが確認され、逆に解凍時はその反動が12月の実験開始当初よりも管路上部に盛り上がるように戻っていることを確認した(写真-6)。

5. 考察

今回は3パターンの凍結と解凍メカニズムを想定して実験を行った。ここでは各パターンの考察を行う。

(1) 「全凍結・解凍パターン」実験の考察

本実験では、管路が様の温度環境に置かれた場合を想定し、全体を凍結・解凍させた。これは凍結により管路中央部分に氷が生成されることに着目し、滞留水を解凍させる過程で全て融解させず、ケーブルに氷を付着させた状態で再度凍結させることで、氷生成時の圧力が氷ごとケーブルを押し上げるように作用することを想定した実験である。結果ケーブルには変化がなかったが、これは圧力がうまくケーブルに作用しなかったことが原因と考えられる。今回、管口はハンドホールの状態を再現するためネオシールで密閉していたが、凍結時、滞留水の体積膨張により外に押し出されていた。これは凍結時の圧力は管路中央だけでなく管口にも作用していることを意味しており、管路中央部分にはケーブルを動かすだけの力が十分に働いていなかったと思われる。また管路曲線部分からの漏水や管路の破損から、凍結時の圧力は管に沿ってのみ作用してる訳ではなく、管の耐久性の低い部分へも作用することが考えられる。解凍時、線ヒータによる熱の伝達では当初想定していた一様の解凍は再現できておらず、実際は管口と管路中央部分に熱が逃げていくため、その部分が優先的に融けてしまうといった事象があった。これによりケーブルに氷を付着させること自体が十分にできておらず、ケーブルに力を伝える機構そのものが理想的に構築できていなかったものと考えられる。

(2) 「管路の中央先端にのみ氷を残す」実験の考察

本実験は、力の作用する想定は先の実験と同じく、上手くケーブルに力を作用させるため、線ヒータの位置を

調整し中央部分の氷を融かさないようにしたものである。この実験においてもケーブルに変化は確認されなかったが、これは先の実験とは逆に、管路と氷、ケーブルが一体になり栓がされている状態となっている場合、少なくとも今回用いている供試体で生じる凍結時の膨張圧力では押し出すことができないということが分かる。当該部分の管路の周りだけ融かすことも試してみたが、これも先の熱伝達の問題があり一様に周りだけ融かすということができず、状況の再現には至らなかった。

(3) 「管路中央部と管口の氷を残す」実験の考察

本実験は、凍結のタイミングが一様ではなかった場合、力の作用はどうなるのかに焦点を当てた実験を行った。結果ケーブルには変化がみられなかったが、凍結障害防止用PEパイプの凍結時、解凍時の変位がこれまでの実験より顕著に表れていることが確認できた。これは、先の実験では逃げていた圧力が逃げられなくなり、この区間に集中して作用したためと考えられる。

今回の実験は水の凍結膨張がケーブルに作用することによってケーブルが押し出され、座屈することを想定したものであったが、どのパターンにおいても現象を再現することができなかった。これは単に実験の環境が現地に見合っていないということに起因することも考えられるが、一方で膨張圧力での押し出し以外にもケーブルに力を及ぼす要因が存在している可能性があることも考えられる。そこで、我々は今回の実験結果を踏まえて改めて網走で生じた障害における現地の状況を整理したところ、ケーブルに付着した氷と滞留水によって本障害事象を引き起こすことが推察された。次の章でそのことについて考察を行う。

6. ケーブルに付着した氷が及ぼす作用

まず我々は現地の地理的性質について確認を行った。現地では図-4の様にハンドホール間に勾配があり低い方のハンドホールに水が溜まっていくようになっていた。

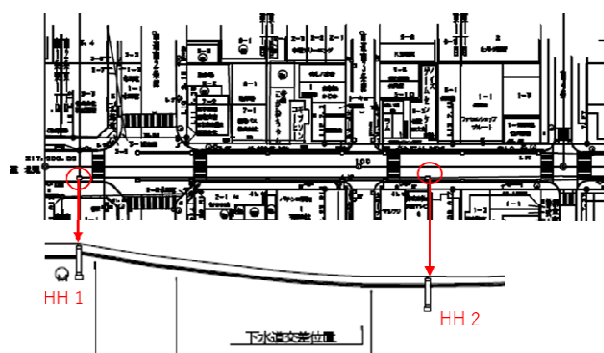


図-4 現地ハンドホール間の勾配

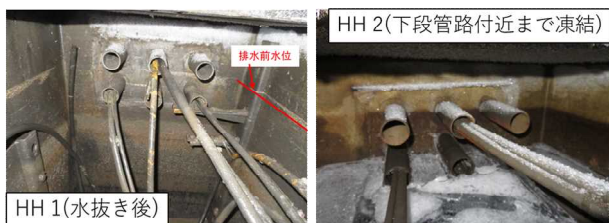


写真-7 現地ハンドホール内の状況

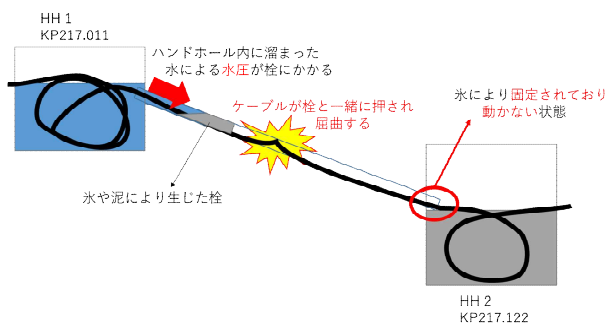


図-5 管路内に栓ができていた場合の挙動イメージ

しかし、障害後の調査では下方のハンドホールには管路の敷設位置まで氷が到達していないという状況であった。現地一帯に同様の降水降雪があり、ハンドホール内に溜まっていく水量もおおよそ同じと仮定すると、高い方のハンドホールで溜まった水は管の敷設されている高さを超えた時点で管路を伝い、低い方のハンドホールに流れていくことが想定される。実際、高い方のハンドホールには管路の敷設位置を超える程の水が溜まっており、通常であれば低い方のハンドホールに水が流れていき同水位(実際には勾配による差がある)になるはずであるが、そうならなかったことが分かる(写真-7)。この原因として考えられるのが、管路中で氷や泥で栓ができた可能性である。また、もし栓ができたことによって水が留まってしまう様な状況であるとする、栓に向かう水圧は図-5に示す様に働くと考えられる。そして栓が水圧を受けることでケーブルをまとったまま動きだすとする、下方は氷によって固定されている状態のため力の逃げ道がなくなり、座屈するということが考えられる。この管路の状態について、チューブと針金を使って再現した。まず、チューブを3cm程度水に浸し、凍らせて、栓を作る。栓ができている方の反対側を指で押さえつつ、栓を押していくと(写真-8、写真-9)のように針金と一緒に押し出されるように座屈した。二つの写真で座屈の仕方が違うのは、赤丸で示しているように指で押さえる地点を変えたためと思われる。これにより、ケーブルの始点と終点が一直線上に近い状態である場合には山なりに座屈し、ケーブルが浮いている場合にはクランク状に座屈することが分かった。確認できた事象は網走で生じたケーブルの座屈の状況とも酷似していることから、ケーブルへ相応の力の作用があった場合、同様に座屈しうると考えられる。

OGASAWARA Yuta, ONODERA Takashi

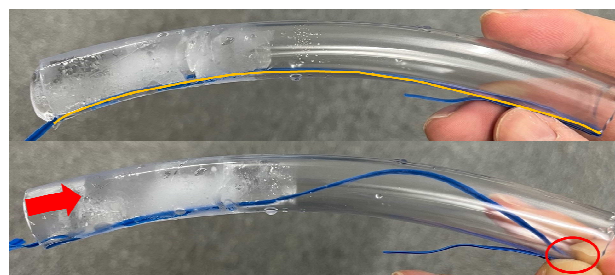


写真-8 山なりに座屈する場合

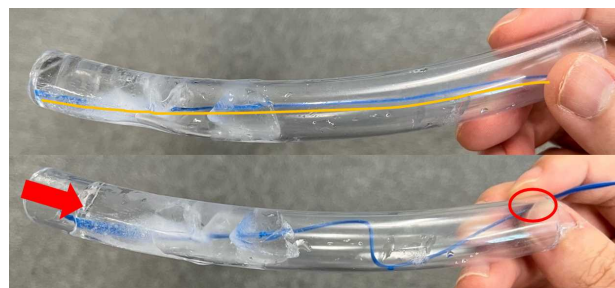


写真-9 クランク状に座屈する場合

7. 障害に対する対策とまとめ

今回の実験を通して、網走において発生した光ケーブル障害はハンドホール及び管路内の滞留水により引き起こされている可能性が十分にあることが確認できた。今後同様の事象が起こらないようにする対策としては以下の点が考えられる。

(1) ハンドホールへの水の流入を防ぐ

降雪雨量が多い地域などはハンドホールへ水が流入しやすくなるため、防水型の蓋を搭載したハンドホールを設置することが有効であると思われる。また、今回の網走の障害においては、水が溜まっていたハンドホール(HH 1)では蓋のモルタルとロックが破損していたため、より水が侵入しやすい状況となっていたことも分かっている。このことから、ハンドホールの劣化や破損状況を確認し、浸水が起こっている場合にはハンドホールの修理等も検討する必要があると思われる。

(2) 管路への水の浸入を防ぐ

ハンドホールの健全性が保たれていたとしても、屋外地表面に設置する場合、数ヶ月以上の長い期間を考えると浸水する可能性は十分に考えられる。そのため、ハンドホールに水が溜まることを前提に考えると、管口へ止水対策を施すことも有効と思われる。

(3) ハンドホールに侵入する水を排水する

浸水してしまった水を定期的に排水することも重要である。定期的なメンテナンスにおいて行う方法の他、ハンドホール自体に水抜き孔を開けるなどメンテナンス回数を少なくできる構造にしておくことも有効と思われる。

今回の実験では見た目での変化に着目し、供試体では想定していた様な結果が得られなかったものの、凍結膨張によってかかる圧力の大きさを感ずることができ、また、実験後の再検討ではケーブルが座屈するメカニズムの一端を掴むことができた。今後は、凍結時の挙動に加え水圧による作用についても検証を行い、障害発生メカニズムを解明することで同様の障害が起こらないよう適切な対策を講じていければと考えている。

謝辞：本稿における実験の実施にあたり、国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム 國分主任研究員様、特別研究監 地域景

観チーム 大部主任研究員様、岩田主任研究員様におかれましては、実験装置の作成方法等、ご助言、ご指導を賜りました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 北海道開発局 事業振興部 デジタル基盤整備課:北海道の情報通信, <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ki/jinji/splaat000000ryvp-att/slo5pa000000u3dy.pdf>, 2023年10月30日閲覧.
- 2) 岩田 圭佑、蒲澤 英範、松田 泰明、吉田 智:寒冷地の浅層埋設を想定した光ケーブル管路滞留水の凍結実験と考察、寒地土木研究所月報 No. 767, 2017.
- 3) 大竹 まどか、岩田 圭佑、松田 泰明
寒冷地域における電線類の浅層埋設実現に向けた考察-光ケーブル管路内滞留水の凍結実験より-, 第61回(平成29年度)北海道開発技術研究発表会論文, 2017