

電線類地中化における 寒冷地での浅層埋設手法に関する技術開発

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 地域景観ユニット ○岩田 圭佑
蒲澤 英範
松田 泰明

電線類地中化の推進に向け、昨年度国交省が設置した「無電柱化低コスト手法技術検討委員会」において、整備コスト削減に寄与する埋設基準の浅層化が議論されている。一方、寒冷地の埋設基準では地盤の凍結深以上の土被りが必要とされており、浅層化に向けた凍結や凍上に対する技術的検討が求められている。

本研究では、北海道のような寒冷地における電線類地中化の必要性について考察するとともに、管路に滞留している水が凍結することにより引き起こされるケーブルへの影響に焦点を当て、寒冷地での浅層埋設手法に関するヒアリングや現地調査を行った。

キーワード：電線類地中化、浅層埋設、凍結、管路、滞留水

1. はじめに

(1) 背景

H26年度に国交省が設置した「無電柱化低コスト手法技術検討委員会」において、電線類地中化の整備コスト削減に寄与する埋設基準の浅層化に向けた課題が検証され、H27.12月に中間取りまとめ¹⁾として報告されている。

同時に、国が管理する緊急輸送道路や防災上重要な道路において、区域を指定して道路上における電柱による占用を禁止・制限する通達²⁾が発出された。今後、電線類地中化が全国的に推進されていくことが期待される。

一方で寒冷地では、全国で一般的に採用されている埋設基準の他に、凍結や凍上によるケーブルや管路の障害を防ぐ観点から、地盤の凍結深以上の土被りを確保する埋設方法が一般的である。現在、全国的に基準の浅層化が検討されている中で、寒冷地においても埋設深さの浅層化による無電柱化を推進するのであれば、凍結や凍上に対する技術的検証が必要な状況である。

寒地土木研究所では、図-1に示すようにH27年から寒冷地における電線類地中化の低コスト化に寄与するべく調査研究に取り組んでいる。本研究を進める中で、浅層埋設時に管路内の滞留水が凍結することによるケーブルへの影響が、1つの大きな懸念事項であることを把握した。この管路の滞留水の凍結については、これまで現場での支障事例が個別に確認されており、凍結障害防止パイプなどの対策が採られてはいるものの、そもそもどのように管路内の滞留水が発生するのか、凍結がケーブルにどの程度影響を与えるのかについては、体系的な調査や考察は行われていない。今後、寒冷地における浅層化

に向けた具体の検討を進めていくためには、まずはその把握が必要となる。

(2) 研究の目的

そこで本論文では、北海道のような寒冷地における電線類地中化の必要性について考察するとともに、寒冷地における埋設基準浅層化に必要な対策技術として、管路に滞留している水の凍結により引き起こされるケーブルへの影響に焦点をあて、ヒアリングや現地調査を行った。これにより、管路の滞留水が凍結するとどのような影響があるのか、管路に水がどのように滞留するのか、管路への水の滞留は防ぐことができるのか、滞留水の凍結によるケーブルへの影響はどのように防ぐことができるのか、などについて考察した。

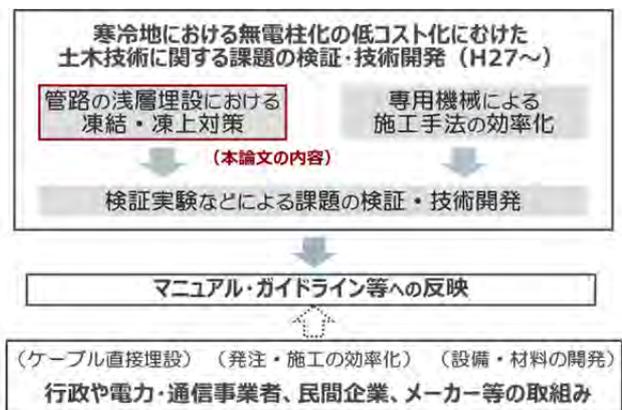


図-1 寒地土木研究所が取り組む研究の枠組みおよび本論文の位置づけ

2. 北海道における無電柱化の必要性

(1) 観光面への影響

全国的には、防災・交通・景観等の観点から、市街地や歴史的街並み、狭隘道路の地中化が重要視されている。

一方、北海道においては、市街地のみならず雄大な農村・自然域の魅力的な景観をもとめて、国内外からのドライブ観光客も増加しているものの、**写真-1 (上)**のように、電線電柱類が沿道景観を阻害している事例が少なくない。特に、近年の通信需要の拡大に伴い農村部や自然域においても通信線が増加し、それを支えるための新たな支柱も増えている。

このような地域は市街地と比較して人口密度が少なく、電力や通信の需要が少ない。そのため、費用対効果の観点から、電線類地中化は一般的に多くが市街地における整備に限られている。しかしながら、特に北海道のような雄大な農村・自然域において電線電柱類以外の景観阻害要素が少ない道路に関しては、**写真-1 (下)**のように“電柱さえなければ”飛躍的な景観向上がのぞめる場所が少なくない。このような農村・自然域では無電柱化による高い景観向上効果が期待できる。

そのため、観光客が多く訪れる農村部で、自治体が独自で費用を負担して地中化を実施する事例もあるなど、そのような地域でも地中化の潜在的ニーズは少なくない(**写真-2**)。なお、農村・自然域では市街地と比較して沿道の土地利用が少ないため、引込み線や電力のトランスが少なく済むことから、長い距離を低コストで効率的に整備できると考えられる。

(2) 防災面での影響

全国的には、地震や暴風の災害時に電柱が倒壊することによる交通障害の影響を低減する目的で無電柱化が重要視されているが、他方、停電による影響も少なくない。北海道においても、2012年11月の胆振地方で発生した大規模停電のように、暴風雪や着雪・着氷による電柱の倒壊および電線の切断が発生している(**写真-3**)。電力事業においては、暴風雪災害の被災時に復旧を迅速に行う供給安定性を重視し、架空による配線が望ましいと考えられている面も少なくない。一方で、阪神大震災(H7)の際に資源エネルギー庁が行った電力線の被災状況調査⁴⁾では、震度7以上の地域の停電率は、架空線は10.3%であるのに対して地中線は4.7%と半分以下であった。また、通信線に関しては、神戸地区における電話回線ケーブルの総延長に対する地中線の被災率は、架空線に比べておよそ1/80程度との調査結果⁵⁾もある。

我が国においては被災率や復旧速さに関する調査事例も少ないため、今後更に検証が必要であるが、一方で海外に目を向けると興味深い事例がある。

例えばフィンランドの北カレリア電力会社は、同国において5番目に広域の配電設備を有するが、他社に比べ



写真-1 世界遺産知床での電線電柱の景観への影響
(上：実際の写真、下：フォトモンタージュ)



写真-2 美瑛町での地中化事例 (道路左側・実施後)



写真-3 暴風雪に伴う電柱の倒壊・電線の切断
(豊浦町ホームページ³⁾より引用)

地中化率が低く、自然災害による停電時間が長いとされている。そのため、北欧投資銀行の融資を受け、フィンランド東部の1,150kmの架空配電線(中圧400km、低圧750km)を地中化し、240kmの中圧架空配電線を道路沿いに移設する計画である⁶⁾。

またスウェーデンにおいても、2005年および2007年冬

期の暴風災害による大規模停電を受けて、中南部の大手電力会社E.ON Sverigeが、主に山間部における延べ17,000kmの架空送電線を地中化する事業を進めている⁷⁾。
 冬期に停電し暖房が停止すると、命に関わるような影響も考えられるが、以上に述べてきた事例から考えると、北海道のような積雪寒冷地では、停電の被災率を低減するための方策としての地中化が有効であるといえる。

(3) 交通安全や道路維持管理への影響

北海道内では、道路付属施設等の人工工作物への衝突事故の中でも、特に道路沿いの電柱や防護柵に衝突する事故が多く、死亡率も高いことが報告されている⁸⁾。

また、冬期の除雪・排雪作業において、特に歩車道境界付近に建柱された電柱が除雪機械による円滑な作業を阻害したり、架空線によりバックホーの操作に支障が出る等、道路の維持管理の効率低下につながっている。

3. 寒冷地における埋設深さの基準とその課題

(1) 埋設深さの浅層化によるメリット

a) 土工量の削減とそれに伴う工期短縮や整備区間拡大

掘削や埋戻しの土工量削減や既設埋設物と交差する支障が低減することと、それに伴い一日あたりに施工出来る延長が増え、工期の短縮が可能となり低コスト化につながる。これにより、整備エリアの拡大も期待できる。

b) 施工機械の稼働時間短縮や小型化

浅層化により機械の掘削機械の稼働時間短縮や小型化の検討が可能である。これにより、市街地の夜間工事における騒音対策や、住宅地の狹隘道路などでの掘削埋戻し作業の効率化につながる。

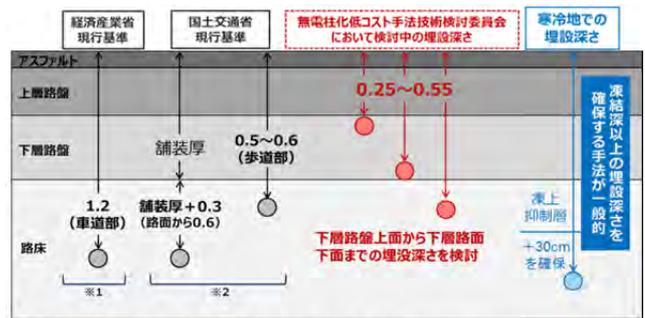
c) 現場作業員の作業性や安全性

掘削深さが浅くなる事で現場作業員の負担を軽減するとともに安全性を向上出来る。特に北海道のような積雪寒冷地では、工事が冬期にずれ込むと作業員の負担が増すと共に、積雪により施工効率も低下する。埋設深さを浅くすることで、一日あたりの施工延長が増えれば、積雪前に工事を終えることも可能となる。

(2) 現在の埋設基準と凍結深さの比較

図-2に示すとおり、国内の基準では、歩道部で50～60cm、車道部で舗装厚+30cmの埋設深さ以上に管路を埋設する。この基準を見直し浅層化による整備コストの縮減を図るため、H26～「無電柱化低コスト手法技術検討委員会」において、道路路盤内への埋設方法が検討されている。H27.12月にはその中間とりまとめ結果が公表され、「舗装への影響については、下層路盤最上部に埋設した大型管（径150mm以上）を除き、基準の緩和が可能」との検証結果が報告されている¹⁾。

しかし、寒冷地では凍結深さを考慮して埋設するのが一般的である。凍結深さとは、冬期間に地中が凍結する



※1 経済産業省の直接埋設基準：「電気設備の技術基準の解釈」
 ※2 国土交通省の管路埋設基準：「電線、水管、ガス管又は下水道管を道路の地下に設ける場合における埋設の深さ等について」

図-2 現在および検討中の埋設深さと凍結深さの比較
 (黒：現在、赤：低コスト手法委員会、青：寒冷地)

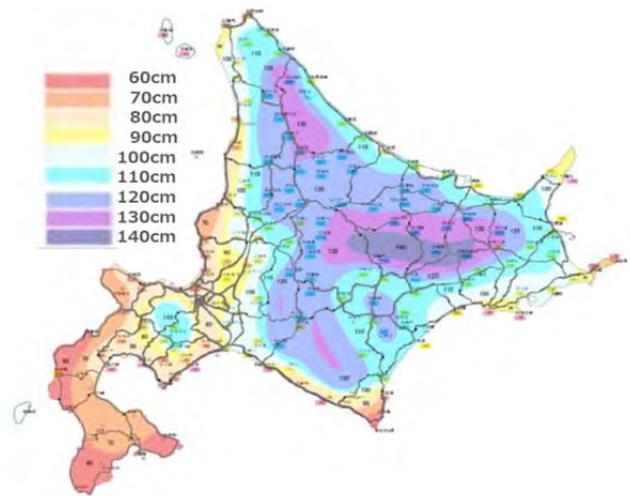


図-3 北海道における凍結深さ
 (北海道開発局道路設計要領⁹⁾より引用)

深さである。例えば開発局の道路設計要領で参照されている凍結深さは、渡島檜山等の道南地方では60～70cmであるのに対し、道東地方では110～140cmである(図-3)。

このように、北海道内の凍結深さは、現在の市街地歩道部で採用されている埋設基準と比較しても深いことがわかる。つまり、北海道では現状においても、凍結深さより深い位置に埋設する必要があるため、実際は全国の埋設基準より深い位置に埋設されている場所も少なくないといえる。

(3) 北海道の基準類における凍結深さの記載内容

凍結深さが実際どのように運用されているのかを知るため、北海道内の共同溝や電線類地中化において採用されている基準類を参照してみる。

電線共同溝技術マニュアル¹⁰⁾では、図-4に示す基準が採用されている。車道部では、凍上による舗装の強度低下を防ぐために、凍結深さと同等まで凍上抑制層が設けられており、そこからさらに+30cmの埋設深さが基準となっている。一方で歩道部では、電力管路が50cm以上、通信管路が70cm以上となっており、数字上は北海道の凍結深さより概ね浅い基準となっているものの、特に通信管路については、「凍上深についても確保することとし、

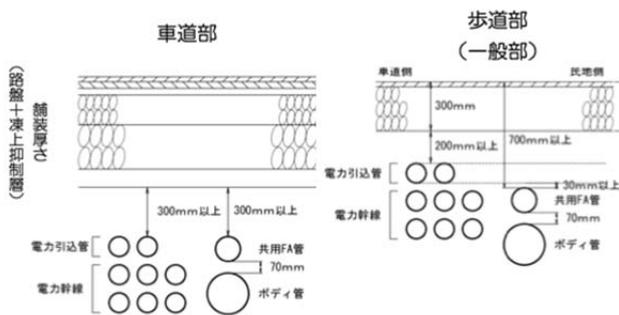


図-4 北海道に置く電線共同溝の埋設深さ基準
(左：車道部、右：歩道部)
※電線共同溝マニュアル¹⁰⁾より引用・加筆

凍上深については地域によって異なるため、過去の凍結の影響を考慮して電線管理者と調整の上、埋設深さを決定するものとする」と解説が加えられている。結果的に、共同溝としては電力管路も併せて凍結深に合わせた深さに埋設されている。

このように、凍結深さは電線共同溝で実際に参照されているマニュアルにも記載され運用されている。今後、北海道において浅層埋設を進めるためには、これらの基準を見直すための技術的検証が必要といえる。

(4) 凍結深さより浅い位置に埋設する際の現状の対策

実際に設計や施工を行う際には、既設の上下水道などの占用物を迂回する必要などから、部分的に凍結深さより浅い位置に埋設せざるを得ない事例も少なくない。その場合、凍結によりケーブルに生じる障害を未然に防ぐために、「凍結障害防止パイプ（中空のパイプを管路に挿入し、凍結による滞留水の体積膨張を吸収しケーブルに加わる圧力を低減するもの）」などが必要に応じて採用されている。

ただし、凍結障害防止パイプの採用において、ケーブル設置の際におこる施工性の低下や、長期的に性能が維持されるか等の課題がある。今後、浅層埋設を一般的な手法としていく際に、これらの方法を採用していくことも一つの方法と考えられるものの、凍結による課題と必要な対策について今一度検証し、どのような方法が低コストで技術的にも効果的であるのかを知る必要がある。

4. 『凍結』の課題と対策について

(1) 凍結によるケーブルへの影響

寒冷地において管路を凍結深さより浅い位置に埋設した場合、図-5に示す通り滞留水が凍結し体積が膨張することでケーブルの外装を圧迫し、同時に内部のケーブルの接触障害や断線などの損傷が発生する恐れがある。

特に通信線ではこれにより通信性能に支障が生じる他、冬期間にケーブルの入れ替えが必要となった際に、ケーブルの引抜きや挿入作業に支障が出ることとなる。

一方、電力線は通電により発熱するため、凍結による

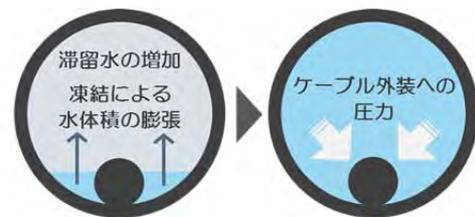


図-5 管路滞留水の凍結による凍結圧迫イメージ



写真-3 管路継ぎ目部から水が流入したとみられる痕

電力供給への障害はみられにくいですが、通電量により発熱状態も変化するため、一概に凍結による影響が無いとは言えない。電力線においても冬期間のケーブルの入れ替え時に引き抜くことができず、代わりに予備管路を使用した事例もある。

このように、凍結によるケーブルへの影響は、大きく分けて“ケーブルの性能へ与える影響”と“維持管理に与える影響”が考えられる。

(2) 滞留水の状況調査および凍結障害事例の収集

a) 共同溝電力管路内部の滞留水の状況

札幌市の市街地歩道部における共同溝の予備管路に特殊部からパイプカメラを挿入し、管路内部の滞留水の状況を確認した。

本調査箇所の埋設深さは概ね90～120cmであり、凍結深さより深いため凍結する恐れは少ないが、水が滞留する状況を確認するために現地調査を行った。

管路に水が滞留しやすいのは、縦断勾配が凹型となっている箇所と想定される。そこで、設計図や現地において予め確認し、水が滞留しやすいような区間（凹型区間）について確認を行った。その結果、管路継ぎ目部から水や砂礫が流入しているような痕跡が確認でき（写真-3）、凹み部において水が管路に満水近く滞留している区間もみられた（写真-4 左）。また、設計図では縦断勾配が凹部となっていない区間においても、実際には勾配に凹部が生じ、水が滞留している管路もみられ、管路から特殊部に漏水している状況であった（写真-4 右）。

b) 共同溝施工部地盤の出水状況

倶知安町の電線共同溝の施工現場では、掘削地盤部において出水があり、ポンプで排水しながら施工している状況であった（写真-5）。これらの出水は、地下水の影響か、もしくは付近の融雪溝を流れる水が出水している

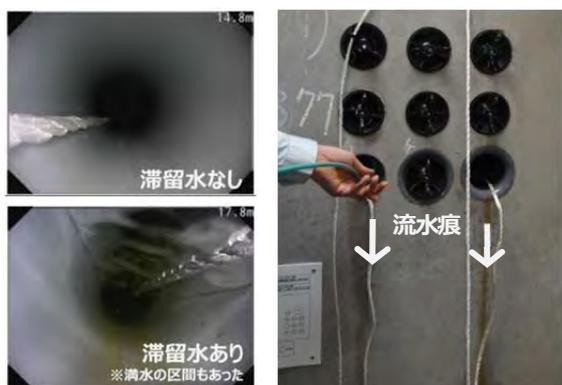


写真-4 左) 通信管路内の滞留水の状況
右) 管路から特殊部への漏水の痕跡



写真-5 掘削地盤内の出水状況



写真-6 通信用メタルケーブルの凍結圧迫・断線事例
(左: 外装の圧迫 右: 内部ケーブルの接触障害)

と考えられるが、詳細は不明である。このような地盤の中に埋設される管路は常に水にさらされると考えられる。

c) 実際の凍結障害事例

道東地域の高規格道路において、実際に凍結により通信用メタルケーブルの外装が圧迫され、ケーブルの接触障害が発生した事例もみられた(写真-6)。

このケーブル管路の埋設深さは68cmであったが、凍結深さが100cmの地域であったことから、管路内の滞留水が凍結してケーブルに損傷を与えたと考えられる。

(3) 水が滞留する要因に関する考察

水が滞留する要因は、(2)aにてみられた管路の接続部分からの侵入の他、今回の調査箇所ではみられなかったが、ハンドホール等の内部に溜まった水が管路に浸入す

る事例もある。特に、(2)bのような地盤内に水が多い場所では、施工時および竣工後の時間経過の中で管路への水の進入を完全に防ぐには相応の対策が必要であり、結果的にコスト高につながってしまうため、水の浸入を防ぐことは効率的な対策とは言えない。

また、管路内の結露も(2)aにおいて部分的に認められた(写真-3)。それらがどの程度の量となり管路内に滞留するのかは確認できなかったが、今回の現地調査の結果からは、結露による影響は少ないと考えられる。

(4) 管路の滞留水凍結に効果的と考えられる対策技術

a) 凍結障害防止パイプの性能検証

凍結障害防止パイプについては、これまでも主に通信ケーブルの管路で用いられ効果をあげている。一方で、凍結や融解の繰り返しを伴う時間の経過により、本来の機能が発揮できなくなる事例や、挿入時に管路の奥まで挿入できない事例など、耐久性や作業性などに検証すべき課題がある。したがって、凍結深と埋設深さの関係も考慮した、凍結障害防止パイプが必要かどうかの設置条件についても検証が求められる。

b) 管路の小型化による滞留水の凍結対策

管路を小型化し滞留水が断面積に占める割合を減らすことで、凍結時の体積膨張によるケーブルや管路への圧力を低減することが可能である。

c) 管路の伸縮性向上による滞留水の凍結対策

一方で、滞留水の凍結による体積膨張に伴い、管路が押し広げられる事でケーブルにかかる圧力が低減されれば、ケーブル本体の性能に与える影響は少なくなると考えられる。しかし、実際の路盤や路床内においてこのような現象が起こりうるかどうかの検証が必要である。

(5) 海外における埋設深さの考え方と我が国への適応性

a) スウェーデンの埋設基準

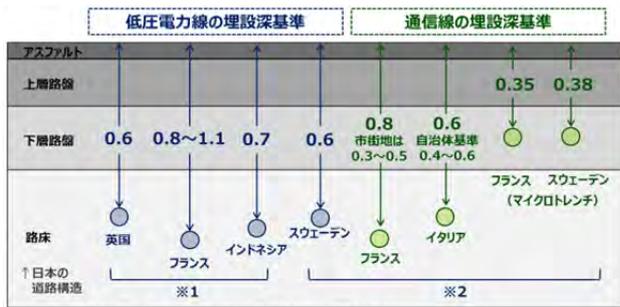
スウェーデンでは、事業者が埋設深さの規則を決定している。ヒアリングによると、電力線は60cmの深さに埋設している。地盤の排水性を良くし、凍上による影響を低減させている。一方、通信線に関しては、直接埋設で38cmの深さに埋設するように設計している。

b) フィンランドの埋設基準

フィンランド交通局のガイドラインによれば、道路部における電力の管路地中線に関しては、路面下70～80cmより深い位置に埋設することとなっている。ただし、霜による凍上や沈下が起こる場合には、この深さでも安全ではないとされている¹¹⁾。

c) フランスの埋設事例

フランスの機械メーカーへのヒアリングによれば、フランスでは道路管理者が埋設物の位置を管理した上で、事業者から新規に地中化の要請があった場合は、道路管理者が指示した場所に事業者ごとに専用の掘削機械(トレンチマシン)を用いて掘削を行い埋設するような方法



※1 三菱総合研究所：「海外における無電柱化実態調査報告」
 ※2 寒地土木研究所による埋設機械メーカーのアンケート調査

図-6 欧米諸国の埋設深さ基準の比較一例（単位：m）

も一般的にとられている。その中には、ケーブルや管路の敷設、埋戻しを専用の機械で同時施工している事例も少なくない。このような方法により、埋設深が深くても効率的に極めて低コストで地中化を実施している。

一方で通信線に関しては、既存の埋設物が多い市街地では、郊外部より浅位置への埋設が認められている。

d) 欧米の考え方の我が国への適用性

以上、スウェーデンのように寒冷地で浅い位置に埋設している地域がある一方で、フィンランドのように凍結深さに配慮して深い位置に埋設するケースがある。また、フランスのように北欧ほどの寒冷地でなくとも、専用機械により極めて低コストで深い位置に埋設する地域もある。それらの埋設深さは、市街地や農村自然域などの郊外部など、場所により異なるほか、電力や通信の事業者によっても異なっている。以上は限られた調査であるため、今後、海外寒冷地での浅層埋設方法も含めて更なる調査が必要であるが、欧米ではそれらの多様な埋設の考え方が柔軟に運用されている印象を受ける。

今後我が国においても、浅層埋設の普及を図る一方、いわゆる共同溝方式とは違う、事業者ごとの単独埋設のような手法により深くても効率的に埋設していく方法など、多様な埋設方法の一般化が望まれる。

以上の観点から、著者らは冒頭の図-1に示すように、専用機械による効率的な施工や、通信線の単独埋設の有効性についても研究を進めているところである^{12) 13)}。

5. まとめ

本論文では、北海道における無電柱化の必要性を考察するとともに、我が国で今後加速すると予測される電線類地中化事業について、現在検討されている低コストな浅層埋設を進めるにあたって、寒冷地独自の必要な対策技術について調査した。得られた知見を以下にまとめる。

a) 北海道における無電柱化の必要性

観光や地域振興を目的とした農村自然域における潜在的な対策ニーズや、災害時における電柱倒壊による二次被害の低減、電力・通信施設被災率の低減、交通安全や冬期除雪の効率性の観点から、北海道における無電柱化の必要性は高い。

b) 調査から得られた課題と必要な対策技術

管路内の滞留水は、管路の接続部分やハンドホール等からの水の侵入や、管路内で繰り返される結露により水が溜まるなど複合的な要因と考えられる。

管路滞留水の凍結によるケーブルへの影響は、凍結によるケーブル外装の圧迫に伴うケーブルの損傷と、ケーブルの入れ替え作業への支障である。

c) 対策の考え方

管路への水の滞留を防ぐには相応の対策が必要であり低コスト化しにくいため、滞留水の凍結による障害を防ぐ対策が求められる。そのため今後は「凍結障害防止パイプの必要性やその性能」「管路の小型化」「管路の伸縮性」等の対策手法について検証が必要である。

一方、欧米では、電力や通信の事業者ごとに専用の施工機械を用いて深くても効率的に極めて低コストで地中化を実施しており、いわゆる共同溝方式とはちがう、事業者ごとの単独埋設も一般的である。我が国でも今後そのような手法が一般化していくことも望まれる。

謝辞：事例調査にご協力頂いた北海道開発局関係各課の方々、ならびにヒヤリングにご協力いただいた自治体や関係機関の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 「無電柱化低コスト手法検討委員会」中間取りまとめ：
http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000603.html
- 「道路法第37条の改正に伴う道路の占用の禁止又は制限」に係る取扱いについて：
http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000605.html
- 豊浦町ホームページ：
<http://www.town.toyoura.hokkaido.jp/toyotopi/detail/39.html>
- 資源エネルギー庁：地震に強い電気設備のために、株式会社電力新報社, 1996.
- NPO 法人電線のないまちづくり支援ネットワーク調べ：電線電柱の課題と道路景観を考えるワークショップ資料, (独)土木研究所寒地土木研究所主催, 2014. 4. 25.
- Nordic Investment Bank：Finland Pohjois-Karjalan Sähkö Oy
http://www.nib.int/loans/agreed_loans/456/pohjois-karjalan_sahko_oy
- Matthias Herzog：Grid Operations in Sweden, 2006.
https://www.eon.com/content/dam/eon-com/de/downloads/g/Grid_Operations_in_Sweden.pdf
- 平澤, 高田, 浅野, 斎藤：電柱衝突事故の対策に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集第61号, 2005.
- 北海道開発局：道路設計要領 / 第2集道路付帯施設, 参考資料.
- 北海道無電柱化推進協議会：電線共同溝技術マニュアル(案)第3.0版, 2014.
- フィンランド交通局：電力配線と道路, p32, 2011. (LIIKENNEVIRASTON：Sahkojohdot ja maantiet, p32, 2011.)
- 田所, 岩田, 山口, 松田：無電柱化のためのケーブル埋設機械について, 第31回日本道路会議論文集, 2015.
- 松田, 岩田, 井上：ルーラルエリアにおける通信線の景観への影響と単独埋設の有効性について, 土木計画学研究・講演集, Vol. 51, 2015.