

電線電柱類の景観対策手法の選定と無電柱化施工技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究機関：平 27～平 30

担当チーム：特別研究監（地域景観ユニット）
寒地機械技術チーム

研究担当者：葛西聡、松田泰明、高橋哲生、
緒方聡、岩田圭佑
片野浩司、牧野正敏、澤口重夫、
小林勇一、大竹まどか

【要旨】

当研究所では、電線電柱類による景観への影響が大きな農村自然域を対象に多様な対策手法を提案してきた。今後、これらの手法を整備目標や沿道環境に合わせて選定する評価技術が求められる。

一方、電線類地中化の低コスト化・施工性向上に向け、埋設深さの基準が浅層化されたものの、北海道のような寒冷地では一般的に電線類を凍結深より深く埋設するため、浅層埋設の凍結に対する技術検討、及び専用の掘削機械を用いた深くても効率的な施工方法の検討が求められる。

本研究では、①無電柱化による効果的・効率的な景観対策の選定技術、②凍上地域における埋設設計技術、及び③郊外部における効率的な施工技術を提案し、それらの成果を技術資料に取りまとめた。

キーワード：電線電柱類、景観、無電柱化、電線類地中化、浅層埋設、掘削機械

1. はじめに

1. 1 研究の背景

北海道のような雄大な農村自然域では、魅力的な景観を求めて、国内外からのドライブ観光客も増加しているが、**写真-1.1**（上）のように、電線電柱類が沿道景観を阻害している事例も少なくない。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ケーブルが増加し、それを支えるための新たな通信柱も増えている。

しかし、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-1.1**（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も少なくない。

以上の課題に対して、電線類地中化は一般的に最も効果的な対策といえるが、施工費用が極めて高いこともあり、国や地方公共団体などの道路管理者においては、より安価な対策へのニーズが高い。また、事業者にとっても、農村自然域では一般的に人口密度が少ないため、必要なコストに対する採算性等の観点から、電線類地中化事業は多くが市街地に限られている。

そのため著者らは、沿道の建物や土地の制約が比較的少ない農村自然域において、**図-1.1**に示すような「片寄せ（反対側への移設）」「セットバック（道路から離して設置）」「通信ケーブルのみ地中化」など、電

線類地中化も含む、実現性が高く景観の向上に寄与する手法について提案してきた¹⁾。



写真-1.1 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）

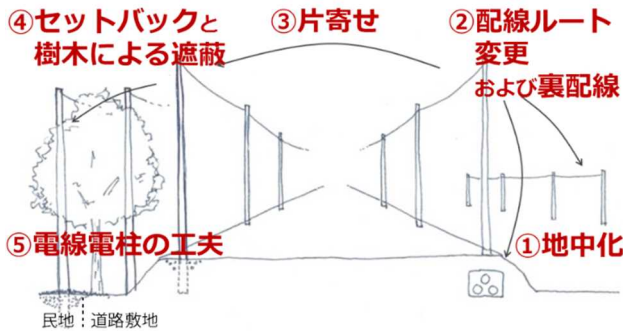


図-1.1 電線類地中化を含む「多様な景観対策手法」

1. 2 研究の目的及び内容

1.2.1 ①無電柱化による効果的・効率的な景観対策の選定技術

道路管理者や事業者が電線類地中化以外の景観対策に取り組んでいる事例も少なくないが、目標とする景観対策効果が十分得られていないなど、現状では効果的・効率的な対策となっていない事例もみられる。また、道路占用の許可基準の適切な運用など、簡易な工夫で景観を向上できる場合も少なくないが、これらの手法を適切に選定することについて道路管理者や事業者には十分に認知されていない。電線類地中化も含め、多様な対策手法を整備目標や沿道環境に合わせて適切に選定・実施するための技術支援が求められている。

1.2.2 ②凍上地域における埋設設計技術

景観・観光・防災の点から効果の高い電線類地中化による無電柱化を推進するための技術開発が強く求められている。そのため、国土交通省の『無電柱化低コスト手法技術検討委員会』（2014.9 発足）での検討を受け、2016.2 には埋設深さの基準が緩和され²⁾、浅層埋設の全国的な普及が期待される。

しかしながら、北海道のような寒冷地では、凍結によるケーブルや道路構造への障害を防ぐ観点から、一般的に電線類を凍結深より深く埋設することが無電柱化の低コスト化や効率化への課題となる。この課題解消にむけ、基準緩和に適応した凍結に対する技術的検討が必要とされている。

1.2.3 ③郊外部における効率的な施工技術

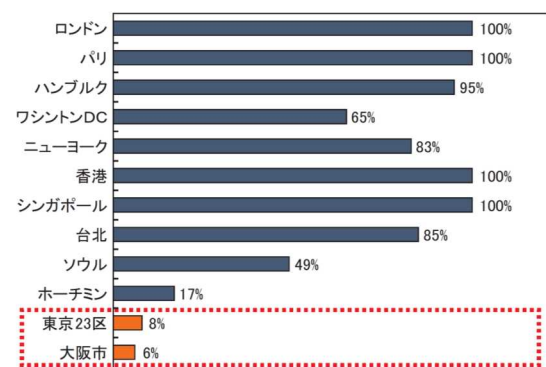
全国的には、市街地や歴史的街並、狹隘道路の電線類地中化が重要視されているが、例えば北海道美瑛町では、観光客が多く往来する農村部の展望公園に向かうアプローチ道路において、独自で費用を負担して電線類を地中化している（写真-1.2）。このように、市

街地はもちろん農村自然域においても電線類地中化による高い景観向上効果や、それに伴う観光振興と経済波及効果も期待されており、潜在的なニーズも高い。

しかしながら、無電柱化の実績は諸外国と比較して極めて低く、欧米はもとよりアジアの主要都市と比較しても大幅な遅れをとっている（図-1.2、写真-1.3）。



写真-1.2 美瑛町の農村域での電線類地中化実施箇所（写真の道路左側・実施後）



- ① ロンドン、パリは海外電力調査会調べ、2004 年の状況（ケーブル延長ベース）
- ② ハンブルクは国土技術政策総合研究所調べ、2015 年の状況（ケーブル延長ベース）
- ③ ワシントンDC は国土技術政策総合研究所調べ、2012 年の状況（ケーブル延長ベース）
- ④ ニューヨークは国土技術政策総合研究所調べ、2016 年の状況（ケーブル延長ベース）
- ⑤ 香港は国際建設技術協会調べ、2004 年の状況（ケーブル延長ベース）
- ⑥ シンガポールは『POWER QUALITY INITIATIVES IN SINGAPORE, CIRE2001, Singapore, 2001』、2001 年の状況（ケーブル延長ベース）
- ⑦ 台北は台北市道路管線情報センター資料、台北市区 2015 年の状況（ケーブル延長ベース）
- ⑧ ソウルは韓国電力統計 2017、2017 年の状況（ケーブル延長ベース）
- ⑨ ホーチミンは国土技術政策総合研究所調べ、2015 年の状況（ケーブル延長ベース）
- ⑩ 日本は国土交通省調べ、2017 年度末の状況（道路延長ベース）

図-1.2 海外の主要都市と日本の無電柱化の比較

出展：国土交通省、国土技術政策総合研究所



写真-1.3 電線電柱のない街並み（シンガポール）

例えば国土全体でみた低圧配電線を EU 諸国と比較すると、日本は約 176 万 km と面積が同程度のドイツや日本より国土の広いフランスに対しても 4～12 倍の延長と突出して長くなっている（図-1.3）。また、地中化率をみても、地中化先進国であるドイツの約 1/290、イギリスの約 1/276、ヨーロッパでは無電柱化が比較的遅れていると言われるフランスの約 1/130 しか進んでいない（図-1.4）。

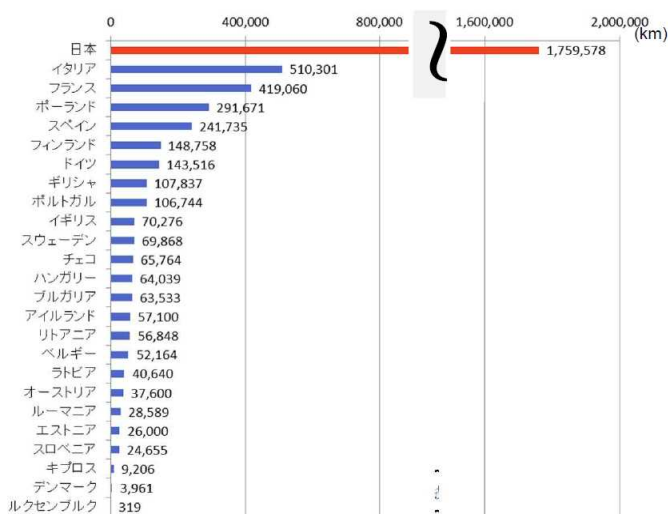


図-1.3 国土全体でみた EU と日本の低圧配電線（回線延長）の比較

今後、我が国で無電柱化を進めるためには、高額な整備コストの大幅な削減や施工性の向上が必須であり、専用の掘削機械を用いた深くても効率的な施工方法の検討が必要とされている。

1.2.4 研究の目的と本研究の成果

本研究では、以上に述べた①無電柱化による効果的・効率的な景観対策の選定技術、②凍上地域における埋設設計技術、および③郊外部における効率的な施工技術の提案を目的としている。本稿では、①に関しては電線電柱類が景観に与える影響に関する被験者実験及び無電柱化事業の事例収集等から「無電柱化による効果的・効率的な景観対策の選定技術」の検討を行い、技術資料としてとりまとめた（2章）。

②に関しては凍上地域における埋設設計技術（3章）、③に関しては郊外部における効率的な施工技術（4章）について事例調査や実験に基づき考察し、技術資料としてとりまとめた。

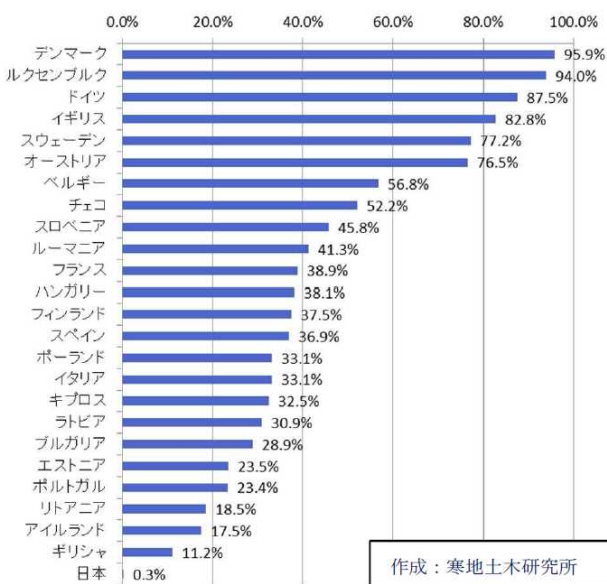


図-1.4 国土全体でみた EU と日本の地中化率の比較

※上記グラフは、下記データを基に国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所が作成
 日本：電線延長、200V・100V
 EU：Distribution Circuit Length（分配回路の長さ）、1kV未満

- ・ 欧州データの出典：“Power distribution in Europe (2010)”
http://www.eurelectric.org/media/113155/dso_report-web_final-2013-030-0764-01-e.pdf
- ・ 国内データの出典：電気事業連合会 HP 電力統計情報（2010）
<http://www.fepc.or.jp/library/data/tokei/index.html>

2. 無電柱化による効果的・効率的な景観対策の選定技術の提案

2.1 電線電柱類が景観に与える影響に関する被験者実験

電線電柱類が景観に与える影響度合いは、定量的には明らかにされていない。そこで、実験1（図-2.1、図-2.2、写真-2.1）にて自然・田園域と市街地や観光地を対象として電線電柱類の影響の度合いについて比較考察した。

また、これまでは主に、自然・田園域を対象として、電線電柱類の地中化を含む低コストで効果的に実施できる多様な工法を検討してきた。しかしながら、それらの工法が電線電柱類の地中化と比べてどの程度景観向上効果があるのか定量的に検証できていないことから、実験2（図-2.1、図-2.2）を実施し比較考察した。

2.1.1 無電柱化による景観向上の直接的効果の評価 1) 実験の概要

実験1（図-2.1、図-2.2、写真-2.1）では、北海道の自然・田園域の中で視対象となるランドマークがある画像（電線電柱類あり・なしのペアが計6シーン、写真-2.2）とその比較対象とする「歴史的街並み」、「市街地」、「自然・田園域（ランドマーク無し、海外）」の画像を用意した。あわせて、因子分析の結果が総合評価との相関性が高くかつ電線電柱類が景観に与える影響を評価する9つのカテゴリー毎に形容詞対を用いてSD法（Semantic Differential Method）^{補注1)}による分析を行った（図-2.3）。

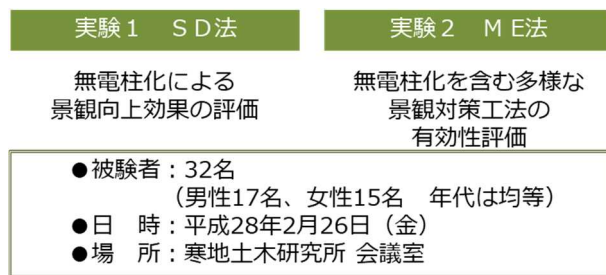


図-2.1 実験1、実験2の概要

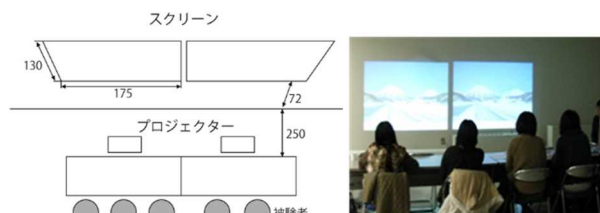


図-2.2 実験会場のイメージ



写真-2.1 実験の様子

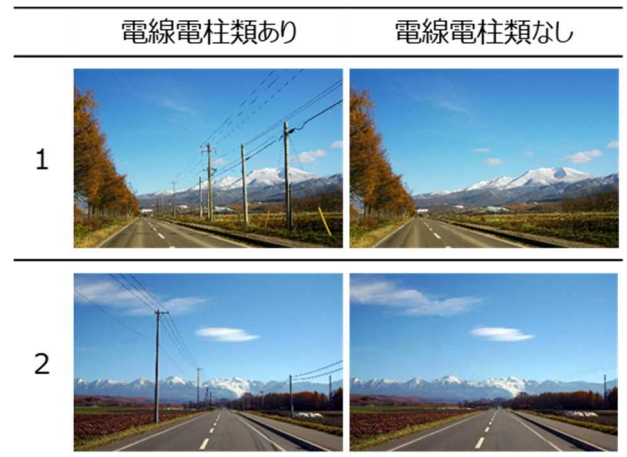


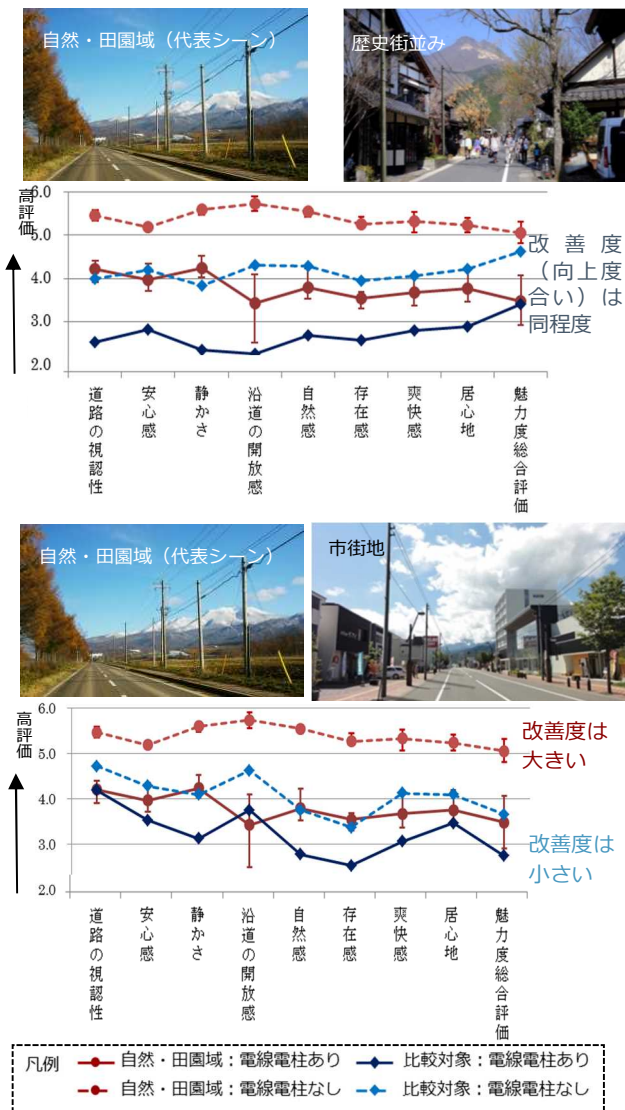
写真-2.2 自然・田園域（ランドマークあり）6シーンのうち2事例

写真No. 1

写真から受ける印象が、左右のどちらのキーワードに近いか、6段階で評価してください。
9つすべてにお答えください。
1. 圧倒的に「左」に近い。 2. 「左」に近い。 3. どちらかというと「左」に近い
4. どちらかというと「右」に近い。 5. 「右」に近い。 6. 圧倒的に「右」に近い

視 道 路 性	道路の見通しが良い 安全な 走りやすい	1	2	3	4	5	6	道路の見通しが 良くない 安全でない 走りやすい
開 沿 道 感	景色がよく見える すっきりとした	1	2	3	4	5	6	景色がよく見えない すっきりしていない
静 か さ	静かそうな のどかな	1	2	3	4	5	6	静かそうでない のどかでない
安 心 感	安心できる 気持ちが落ち着く	1	2	3	4	5	6	安心できない 気持ちが 落ち着かない
自 然 感	自然豊かな 自然と調和した	1	2	3	4	5	6	自然豊かでない 自然と調和した
存 在 感	雄大な 印象的な 迫力のある	1	2	3	4	5	6	雄大でない 印象的でない 迫力のない
爽 快 感	爽やかな 快適な	1	2	3	4	5	6	爽やかでない 快適でない
居 心 地	こころよい ゆつりできる のんびりできる	1	2	3	4	5	6	こころよくない ゆつりできない のんびりできない
総 合 評 価	魅力を感じる 訪ねたい 好きな	1	2	3	4	5	6	魅力を感じない 訪ねたくない 好きでない

図-2.3 電線電柱類の景観評価項目と回答イメージ



2) 実験結果と考察

「自然・田園域（ランドマークあり）」6シーンの評価平均値に対し、「地中化対策前後の魅力度の評価値が同じかどうか」「地中化対策による評価値の変化の度合いがどの程度か」について比較を行った。「自然・田園域（ランドマークあり）」の評価平均値と比較対象とした写真の評価結果のうち、一例を図-2.4に示す。

「歴史的街並み」との比較において、地中化対策前後の評価値は、いずれのカテゴリーでも「自然・田園域（ランドマークあり）」の方が高く、両対象地とも改善度（向上の度合い）は同程度であった。

一方、「市街地」との比較では、改善度は「市街地」よりも「自然・田園域（ランドマークあり）」の方が大きかった。なお、評価値は他と同様に自然・田園域（ラ

ンドマークあり）の方が高かった。

これらの結果から、今回用いた写真ではランドマークがある自然・田園域において電線電柱類が景観の評価に与える影響は、市街地と比較して同等以上であったといえる。これについて、自然・田園域では沿道の建物や広告物等などの人工的な視対象がほとんどなく、電線電柱類が景観阻害に占める割合が市街地と比較して大きいと考えられる。道路景観向上の観点からは、このように「電線電柱さえなければ」という景観を有する自然・田園域においてこそ、電線電柱類の対策が有効であるとも言える。

2.1.2 多様な景観対策手法の有効性の比較

1) 実験の概要

実験2では、「電線電柱類が道路景観に与える影響を与えている」魅力的なランドマークのある自然・田園域」の「対策無し」画像5カ所（No.1～No.5）（図-2.5）とそれらに6工法「①通信線のみ地中化」「②左側に移設（片寄せ）」「③④⑤セットバック（道路から離して設置、距離に応じて3ケース）」「⑥電線類地中化」を施したフォトモンタージュ画像（図-2.6）を用意した。



写真 No.	道路の 視認性	沿道の 開放感	静かさ	安心感	自然感	存在感	爽快感	居心地	魅力度 総合評価
1	・道路の見通しが良い ・安全な ・走りやすい	・景色がよく見える ・すっきりとした	・静かそうな ・のどかな	・安心できる ・気持ちが落ち着く	・自然豊かな ・自然と調和した	・雄大な ・印象的な ・迫力のある	・爽やかな ・快適な	・ここちよい ・ゆっく ・のんびり ・できる	・魅力を感じる ・訪ねたい ・好きな
1-①	110	95	126	145	98	75	113	125	118
1-②	100	85	95	110	75	80	120	103	96
5	140	125	108	125	146	168	200	150	160
1-⑥	180	200	150	145	185	175	225	175	200

図-2.7 ME法の回答イメージ

以上の画像5カ所×6ケースを使い、「対策なし」を基準点（100点）とし、他の工法がどの程度の点数となるかを評価するME法（Magnitude Estimation Method）^{補注2)}を用いて、被験者32人に評価指標（視認性、開放感、魅力度総合評価など9項目）（図-2.7）を採点してもらった。

2) 実験の結果と考察

5カ所の対象地毎に、①～⑥の工法に対する魅力度総合評価の評価平均値を示した（図-2.8）。「電線類地中化」の評価平均値は182点～187点の付近に集中する傾向を示した。これに対し、その他の対策工法の評価平均値は、No.1～No.5それぞれで異なる傾向がみられた。例えば、画像右側で電線電柱類が視対象となる山の眺望を妨害しているNo.1、3、4の場合には、「片寄せ」でも比較的高い評価値となった。特に、視対象の反対側となる画像左側に樹林があるNo.1の場合には、高い評価値となった。一方、道路の両側が開放的で正面に視対象となる山並みが眺められるNo.2、5の場合、「片寄せ」よりも「セットバック」にて視界の中心から離す方が高い評価値となった。また、追加建柱され低い位置に多くの通信線があるNo.1、5では、通信線のみ地中化でも一定程度の効果が認められた。

これらの結果から、地中化の効果が最も高いことと、

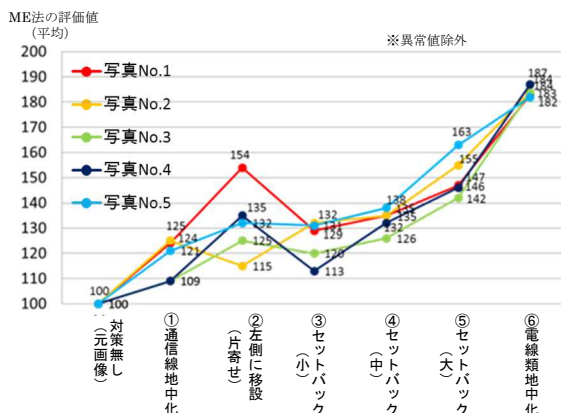


図-2.8 対策工法ごとの魅力度総合評価（被験者回答平均※）の比較

地中化以外の対策工法でも沿道環境によっては比較的高い効果が得られることが確認できた。例えば、山の稜線や眺望が得られるような場所では、地中化以外でも低コストで高い効果が期待できる工法があると言える。

2.2 景観向上による波及効果と事業優先度

2.2.1 無電柱化事業の事例収集

1) 無電柱化整備事例の収集

無電柱化の整備事例として、整備スケール、地域特性のほか、過去の知見から無電柱化により景観効果が高いと想定される場所を踏まえ、北海道内を含む14箇所（表-2.1、図2.9）で、事業計画、事業を位置付ける上位計画、事業を取り上げた記事などを85件（A4相当で計716枚）収集した。

また、収集した事例をもとに、無電柱化事業の特徴と考えられる事項や、事例毎に景観面の効果と可能な工法についての考察を加えた。

表-2.1 無電柱化事例調査箇所の一覧

対象箇所	場所	地域タイプ (立地)	整備 スケール	
① 丸山通り	北海道上川郡美瑛町	市街地系	線	観光地系 観光地への滞在拠点 観光街・観光エリア
② ニセコ高原比羅夫線「ひらふ坂」	北海道虻田郡倶知安町	市街地系	線	観光地系 観光街・観光エリア
③ いにしえ街道	北海道檜山郡江差町	市街地系	線	観光地系 地域振興施設・観光拠点
④ 本小路通り	宮崎県延岡市	市街地系	線	地元系 景観エリア
⑤ うきは市(吉井地区)	福岡県うきは市	市街地系	線	観光地系 観光街・観光エリア 景観エリア
⑥ 華津温泉	群馬県吾妻郡草津町	市街地系	面	観光地系 景観エリア
⑦ 金沢市	石川県金沢市	市街地系	面	観光地系 観光街・観光エリア 景観エリア
⑧ 新栄の丘	北海道上川郡美瑛町	農村自然系	点	観光地系 観光街・観光エリア 景観エリア
⑨ 八幡ビューポイントパーキング	北海道虻田郡倶知安町	農村自然系	点	観光地系 観光街・観光エリア 景観エリア
⑩ 道の駅おびら線番屋	北海道留萌郡小平町	農村自然系	点	観光地系 観光街・観光エリア 景観エリア
⑪ 女満別メルヘンの丘ビューポイントパーキング	北海道網走郡大空町	農村自然系	点	観光地系 観光街・観光エリア 景観エリア
⑫ 駒ヶ根駒ヶ岳公園線	長野県駒ヶ根市	農村自然系	線	観光地系 観光街・観光エリア 景観エリア
⑬ 白糸の滝	静岡県富士宮市	農村自然系	線	観光地系 観光街・観光エリア 景観エリア
⑭ スウェーデンヒルズ	北海道石狩郡当別町	郊外地系	面	観光地系 観光街・観光エリア 景観エリア



図-2.9 事例調査のとりまとめ例（①丸山通り）

2) 無電柱化整備計画の収集

今後自治体が景観形成・観光振興を目的としてどのように無電柱化に取り組もうとしているのかを把握するため、研究時点（2019.2）で公開されていた無電柱化推進計画（都県3件、市11件、A4相当で計508枚）を収集（表-2.2）した。

また、収集した計画から、優先度の検討をする際に有益と考えられる事項を抽出した（表-2.3）。

表-2.2 収集した無電柱化推進計画の一覧

都道府県名	推進計画(名称)	
	市区町村	
群馬県	群馬県無電柱化推進計画	パブリックコメント(H30.12.18~H31.01.16) 3月策定予定
埼玉県	さいたま市無電柱化推進計画	パブリックコメント (H30.12.19~H31.01.18)
東京都	東京都無電柱化推進計画 (平成30年3月策定)	
	練馬区無電柱化推進計画 (平成30年3月策定)	
	板橋区無電柱化推進計画	パブリックコメント(H31.1 予定)
	新宿区無電柱化推進計画	パブリックコメント(H30.12.15~H31.1.11)
	文京区無電柱化推進計画	パブリックコメント(H30.12.06~H31.1.7)
	北区無電柱化推進計画	パブリックコメント(H30.12.20~H31.01.30)
神奈川県	西東京市無電柱化推進計画	パブリックコメント(H30.12.03~H31.01.07)
	横浜市長見直し推進計画 (平成30年12月策定)	
愛知県	名古屋市長見直し推進計画	パブリックコメント (H31.01.16~H31.02.15)
大阪府	大阪府無電柱化推進計画	
	大阪市無電柱化推進計画	パブリックコメント (H30.12.21~H31.1.25)
兵庫県	芦屋市長見直し推進計画 (平成30年10月策定)	
香川県	香川県市長見直し推進計画	パブリックコメント (H30.12.26~H31.01.25)
宮崎県	宮崎県市長見直し推進計画 (平成30年11月策定)	

表-2.3 無電柱化推進計画での
景観面の効果に着目した事項

自治体	優先路線として位置づける条件等
香川県	主要観光地（栗林公園、小豆島等）他
横浜市	都心部、主要観光地・集客施設へのアクセスルート
芦屋市	景観地区、都市計画マスタープランへの位置づけ（景観軸等）、公共サイン計画モデル路線（サイン整備箇所）等
練馬区	景観計画における景観まちづくり地区内の路線 等
新宿区	景観重要公共施設、観光施設・集客施設前面道路 等
大阪市	魅力向上に重点的に取り組んでいる船場、夢洲の2地区を選定

2.2.2 景観向上による波及効果の分析

1) 景観に着目した無電柱化による波及効果フローの作成

既往研究では、小栗³⁾らは、「公共事業による良質な空間の創出が地域のまちづくりに及ぼす効果」を「まちづくり効果」と定義し、公共事業における景観配慮によりどのような「まちづくり効果」を生み出すことができるのかを示している。あわせて、その効果がすぐに発現するものから、ある程度時間を要するものまでを「まちづくり効果」の相互関係も示している。一

方、笠間ら⁴⁾は、全国の市町村が実施した都市再生整備計画事業の事後評価事例を用いた検証により、景観の効果の評価項目（評価指標）間の関連性や、景観の効果の全体像について検証し、景観の効果の発現プロセスに関する検討を行い、発現モデルの試案を示している。

これらを踏まえ、無電柱化事業によってなされる景観向上の効果は、景観創出により人の意識が変化し、個人の意識の変化が行動に紐づけられることから始まると仮定（個人の意識からスタートし波及）し、それにより一人の行動が、複数の人の意識・行動に変化し発現する効果を直接効果および波及効果とした（意識→行動→直接効果→波及効果）。また、効果が波及していく段階で、関連の深い効果の群を以下のフェーズで取りまとめた。

①**来訪者増加フェーズ**：美しい景観を見て、行ってみたいという活動が集まって来訪者の増加に繋がる。来訪者の増加は、賑わいや経済活性化等にも波及していく。

②**知名度上昇フェーズ**：美しい景観をみて、写真で残す・SNSで紹介するといった活動が集まり、見る人・知る人が増加し、知名度の向上に繋がる。知名度向上は来訪者増加に繋がり、口コミ・マスコミに取り上げられ評判になるに従ってさらに来訪者が増加するスパイラルが生まれる。

③**生活環境向上フェーズ**：美しい景観を見て、その景観のなかで過ごしたい、景色を楽しみたいといった思いを抱き、住みやすさを感じる人が増える。

④**地域のつながり向上フェーズ**：美しい景観を見て、それを守りたい・愛着がわくといった思いから、景観の保全やまちづくり活動、住民内での連携といった動きに繋がる。愛着がわくことで、それを大切に人の活動が重なりあい、ブランドにまで高まり、ブランドとして表現されることでさらに愛着も高まるスパイラルが生まれる。

⑤**ブランド力強化フェーズ**：知名度の向上や生活環境の向上等をうけ、景観がブランドにまで高まる。美しい景観があることで、民間投資の誘発や地価上昇にも繋がり、地域の名前自体に付加価値が生まれる。

上記をもとに整備事例14箇所を検証し、景観向上によって発現する69効果（訪れる人への効果36効果、住む人への効果30効果、関わりのある人への効果3

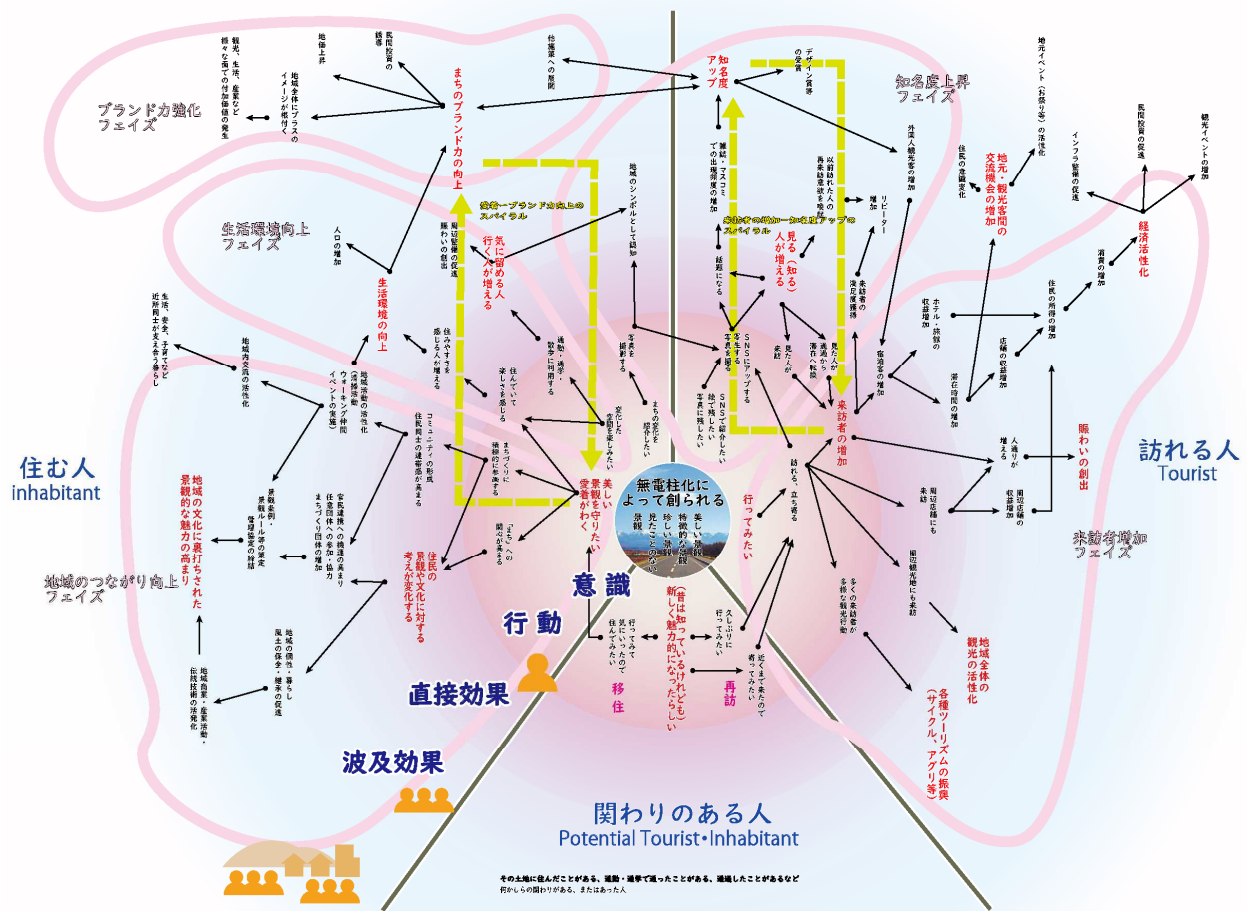


図-2.10 無電柱化による景観効果の波及フロー

効果）を抽出し、その結果を景観効果の波及フローとして作成した（図-2.10）。

2) 波及効果フローを用いた効果発現パターンの検証

作成した波及効果フローを使って、無電柱化整備 14 事例を検証し、事例毎にどのような効果が期待できるかを整理した。また、各事例から見えてくる発現する効果や 5 つのフェーズへの重なり具合などの特性や傾向などから、効果の発現の仕方を 6 パターンに分類することができた（図-2.11）。

無電柱化を実現させたい箇所において、現場条件や特徴を発現 6 パターンの中から類似するものを見出すことで、詳細な検討に至る前にある一定の効果を類推し、効果の検証や検討の優先順位を判断するための基礎資料とすることができると考えている。

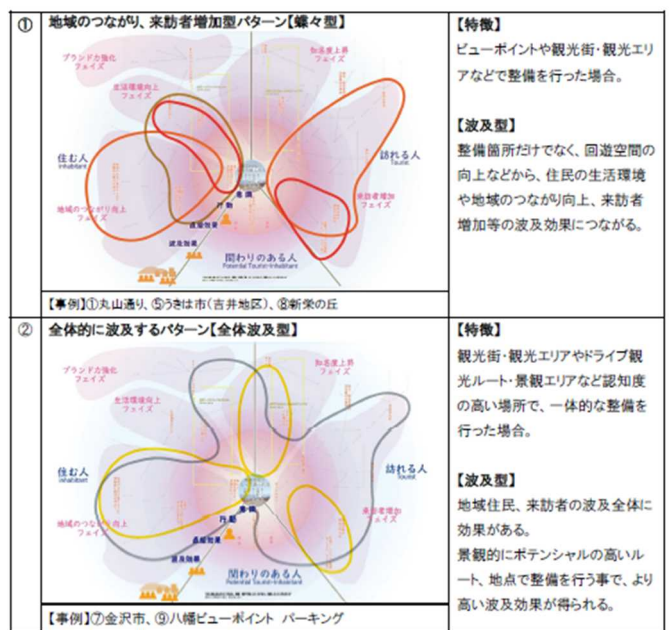


図-2.11 無電柱化による景観効果の波及フローの 6 パターン（抜粋）

2.2.3 無電柱化事業の景観面からの優先度の分析

1) 景観面で効果の高い場所の考え方

事例調査等から、景観面で効果の高い場所を考える際に一つ目のポイントとして、良い景観としてのポテンシャルを持っている場所や無電柱化を進めることで景観の良さが表出する場所であることが考えられる。以下に、想定される6箇所（表-2.4）を示す。

二つ目のポイントとして、自治体が作成した無電柱化推進計画の事例調査からは、景観地区などの法規制の指定や景観に係る取り組みを実施している箇所での優先的な位置づけが散見され、更には無電柱化スキームとは違う他事業も同時に実施されることが多く、無電柱化をあわせて実施することで相乗効果が発揮される事例が多くあった。以下に、2箇所（表-2.5）を示す。

三つ目のポイントとして、その箇所だけで考えた際には無電柱化の優先度は高くはなりにくいだが、地域の事情や面的な整備などの特殊なケースで無電柱化が必要となってくる場所が考えられる。以下に、想定される2箇所（表-2.6）を示す。

表-2.4 景観ポテンシャル、無電柱化で景観の良さが表出する場所

主な場所	内容等
①見晴らしの良い視点場（良好な眺望・地域を代表する景観）	山あて道路、SA・PAなどの良好などで良好な眺望の得られる場所、土木学会や景観大賞など第三者から高い評価を得ている場所
②電車や船等、乗物からの景色が優れている場所	公共機関等からの景色が優れている場所、車窓からの魅力的な景色や絶景、紅葉、舟からの陸側の景色などを電線・電柱が阻害している場合
③世界遺産や土木遺産、史跡旧跡の周辺	世界遺産や土木遺産、日本遺産、日本の道100選等、名所である場所、国重要文化財や有形・無形文化財や史跡に隣接する道路、もしくはその場所までの周遊道路
④遊歩道・サイクルツーリズムなどのルート	サイクルツーリズムやマラソートルート、フラワールードなど他の活動が積極的な場所
⑤豊かな自然や日本の文化を感じられる場所	神社や参道、自然公園など日本らしさを感じられる街なかの空間
⑥中心市街地などにぎわいのある街なかの空間	洗練された良好な都市空間やにぎわいを感じられる街なかの空間

表-2.5 法規制の指定が行われており、無電柱化実施で相乗効果が期待できる場所

主な場所	内容等
⑦すでに景観形成の取り組みが行われている場所	歴史的建築物や伝統的街並み、中心市街地等、すでに景観整備や建物修景が行われている場所
⑧景観法による指定地域を通る道路	景観地区など景観法による位置づけやその他上位関連計画等での位置づけがある場所

表-2.6 地域の事情や面的な整備などの特殊事象で無電柱化が必要になってくる場所

主な場所	内容等
⑨地域文化の盛んな地域	祭りなどの地域文化が盛んな場所
⑩観光地までのルート	日本風景街道（シーニックバイウェイ北海道など）や〇〇街道等、観光地までの道路、参道を目的としたルート等、目にする観光客が多く無電柱化のニーズが高い場所

表-2.7 無電柱化事業の取り組みやすさ

3つの視点	内容等
①施工方法やタイミング等の観点からみて、無電柱化を取り組みやすい箇所	・道路の拡幅や都市整備、民間開発等の事業が計画されている場所 ・電柱の更新時期の場所 ・需要家が増加した場所 ・条数の少ない場所 ・関係者の少ない場所
②社会的関心や注目が集まりやすい場所であることから、無電柱化を取り組みやすい区間	・景観に優れた場所で補助金が付きやすい場所 ・イベント開催場所のルート ・人が集まる場所
③景観面以外で無電柱化を後押しするような環境が整っている区間	・住民の無電柱化への意識が高い場所 ・景観のみならず、防災・交通安全上の課題のある場所

2) 無電柱化事業の取り組みやすさ

無電柱化効果の高い場所とともに、効率的に無電柱化の施工が行えるなど、やり易い場所も整備の優先度が高くなるものと考えられる。そのため、効率的に整備が可能な場所として①施工方法・タイミング、②注目が集まりやすい場所、③無電柱化を後押しするような環境の3つの視点で整理（表-2.7）した。

3) 「効果の高い場所」と「取り組みやすさ」の関係性

無電柱化事業の優先度検討では、「景観効果の高さ」と「取り組みやすさ」が単独に関連するのではなく、双方の相乗効果により優先度が決定される（図-2.12）と仮定し、14事例を使って双方の関係性を評価した。また、その結果をもとに、「無電柱化事業の優先度関係性マトリクス（仮称）」を作成した（図-2.13）。

2.3 技術資料の作成

本研究で得られた成果である、「景観向上による波及効果の分析」「無電柱化事業の分析」から、「地中化工法と整備手法の選定ポイント（案）」「景観のための無電柱化推進のポイント（案）」を作成した（図-2.14）。

無電柱化事業の推進にあたっては、地中化工法を解

説した電線共同溝方式に関するマニュアルなどはあるものの、地中化に至る計画論や整備手法を具体的に解説したものは無かった。また、無電柱化の工法と整備手法（スキーム）が混在して議論されることが多く、さらには電線共同溝方式に偏重した整備ではコスト面や事業促進に限界がある。

上記を踏まえ、無電柱化の基礎知識から工法と整備手法の種別やその特徴・効果などを2冊のポイントブックとして取りまとめた。

これにより、自治体を中心とした無電柱化担当者の技術レベルの向上が期待される。

景観面の効果が高い場所	取り組みやすい場所
A. 観光地までのルート B. 見晴らしのよい視点場(良好な眺望・地域を代表する景観) C. 遊歩道・サイクルツーリズムなどのルート D. 地域文化の盛んな場所 E. 世界遺産や土木遺産、史蹟旧跡の周辺 F. 電車や船等、乗物からの景色が優れている場所 G. 豊かな自然や日本の文化を感じられる場所 H. 中心市街地などにぎわいのある街なかの空間 I. すでに景観形成の取組が行われている場所 J. 景観法による指定地域を通る場所	a. 関係者の少ない場所 b. 住民の無電柱化への意識が高い場所 c. 道路の拡幅や都市整備、公共施設整備、民間開発等の事業計画のある場所 d. 電柱の更新時期の場所であること e. 条数の少ない場所 f. 需要家が増加した場所 g. 景観のみならず、防災・交通安全上の課題のある場所 h. 景観に優れた場所で補助金が付きやすい場所 i. イベント開催場所のルートであること j. 人が集まる場所

図-2.12 「景観面の効果が高い場所」と「取り組みやすい場所」



図-2.14 「無電柱化のポイントブックシリーズ」

*本マトリクスは、箇所ごとの比較に用いるのではなく、「効果のある箇所」について、一般的に関連性のある「取り組みやすさ」を導くためのものです。点数化して候補箇所の優先度を定めるような用い方はしないように気を付けてください。

◎:一般的に関連性が高い ○:高くも低くもない △:一般的に関連性が低い

	取り組みやすさ									
	a.関係者の少ない場所	b.住民の無電柱化への意識が高い場所	c.道路の拡幅や都市整備、公共施設整備、民間開発等の事業計画がある場所	d.電柱の更新時期の場所であること	e.条数の少ない場所	f.需要家が増加した場所	g.景観のみならず、防災・交通安全上の課題のある場所	h.景観に優れた場所で補助金が付きやすい場所	i.イベント開催場所のルートであること	j.人が集まる場所
景観面効果が高い場所	A.観光地までのルート ジャックパ・ウイヤ○街道等、観光地までの道路、参道等目的地までのルート等、目にする観光客が多く、ニーズが高い場所。	◎	○	△	◎	◎	△	○	○	△
	B.見晴らしのよい視点場(良好な眺望・地域を代表する景観) 山あて道路、SA、PAなどの良好な眺望の得られる場所、土木学会や景観大賞など第3者から高い評価を得ている場所	◎	◎	△	◎	◎	◎	○	○	○
	C.遊歩道・サイクルツーリズムなどのルート サイクルツーリズムやマラソンルート、フラワーロードなど他の活動が積極的な場所。	◎	◎	△	◎	◎	△	○	◎	○
	D.地域文化の盛んな場所 祭りなどの地域文化が盛んな場所・地域	△	◎	○	◎	△	○	◎	◎	◎
	E.世界遺産や土木遺産、史蹟旧跡の周辺 世界遺産や土木遺産、日本遺産、日本の道100選等、名所である場所、国重要文化財や有形・無形文化財等の文化財・史跡に隣接する道路、もしくはその場所までの周辺道路。	○	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎
	F.電車や船等、乗物からの景色が優れている場所 電車や船など、交通機関等からの景色が優れている場所。車窓から魅力的な景色や絶景、紅葉、舟からの陸側の景色などを、電線・電柱が阻害している場合。	○	△	◎	◎	○	○	○	○	◎
	G.豊かな自然や日本の文化を感じられる場所 神社や参道、自然公園など日本らしさを感じられる場所。	○	○	△	◎	◎	◎	○	○	◎
	H.中心市街地などにぎわいのある街なかの空間 洗練された良好な都市空間やにぎわいを感じられる街なかの空間。	△	◎	◎	◎	△	○	◎	○	◎
	I.すでに景観形成の取組が行われている場所 歴史的建築物や伝統的街並み、中心市街地等、すでに景観整備や建物修繕が行われている場所。歴史的建造物と人工物（電線電柱）の組み合わせは、違和感を感じさせる。	○	◎	◎	◎	○	○	◎	○	◎
	J.景観法による指定地域を通る場所 景観地区など景観法による位置づけやその他の上位関連計画等での位置づけがある場所	○	◎	◎	◎	○	○	◎	○	○

図-2.13 「無電柱化事業の優先度関係性マトリクス（仮称）」

3. 凍上地域における埋設設計技術の提案

3.1 寒冷地における「凍結」の影響と埋設基準

3.1.1 凍結による電力・通信ケーブルへの影響

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、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（図-3.1）。また、冬期間にケーブルの入れ替えが必要となった際、ケーブルの引抜きや挿入作業に支障が出ることもある。

このように、滞留水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”が考えられるが、一般的に、凍結によるケーブルへの障害は、通電により発熱する電力線と比べて通信線において生じやすい。

ただし、電力線においても通電量により発熱状態が変化するため、一概に凍結によるケーブルへの障害が無いとは言えない。また、維持管理面でも、電力線においても冬期間のケーブルの入れ替え時に凍結によりケーブルを引き抜くことができず、代わりにケーブルが挿入されていない予備管路を使用した事例もある。

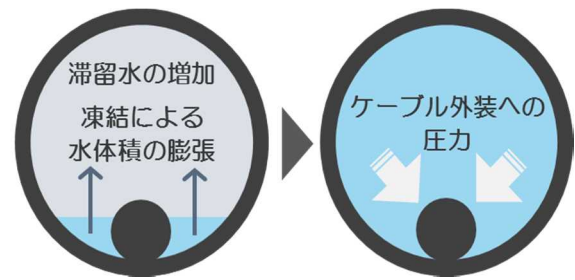
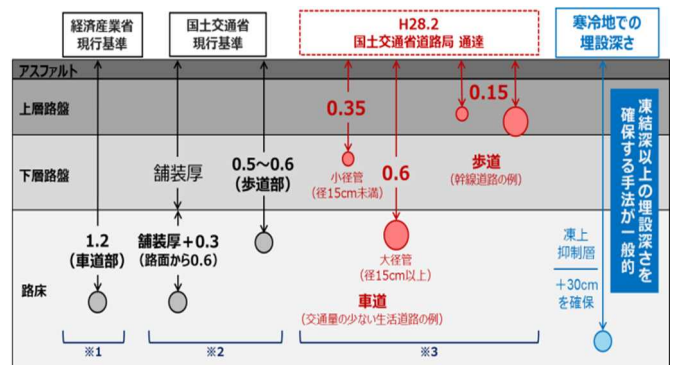


図-3.1 管路滞留水の凍結による凍結圧迫イメージ



※1 経済産業省基準：「電気設備の技術基準の解釈」
 ※2 国土交通省基準：「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」
 ※3 国土交通省道路局 通達：「電線等の埋設物に関する設置基準」の緩和について

図-3.2 我が国の埋設深さと寒冷地での埋設深さの比較
 （黒：現在、赤：H28.2月の通達、青：寒冷地）

3.1.2 北海道における凍結深さと基準類の運用状況

図-3.2に示す通り、埋設深さの通達⁹⁾では、交通量の少ない生活道路で道路の舗装厚さが50cmの場合や、一般的な歩道部においては、従来よりも浅い位置に管路を埋設することが可能となった。しかしながら、寒冷地では冬期間に地中が凍結する“凍結深さ”よりも深い位置に埋設するのが一般的である。例えば北海道開発局の道路設計要領⁶⁾で参照されている凍結深さは、道南地方では60~70cmであるのに対し、道東地方では100~140cmである（図-3.3）。

北海道の電線共同溝技術マニュアル⁷⁾では、図-3.4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、そこからさらに+30cmの深さに埋設する基準となっている。一方で歩道部では、電力管路が50cm以上、通信管路が70cm以上であり、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、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。

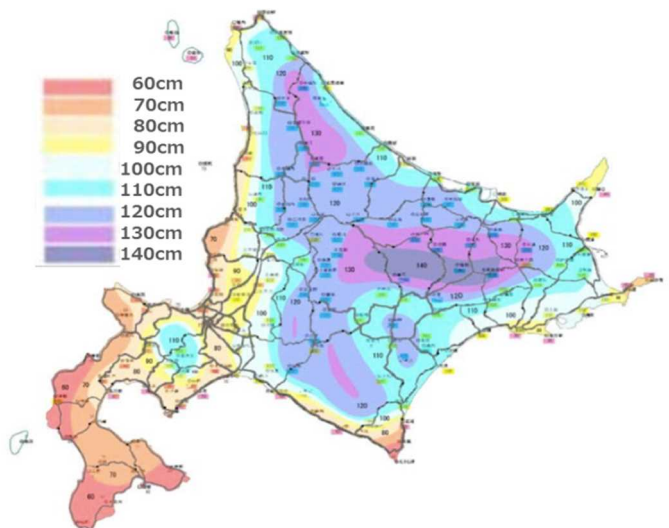


図-3.3 北海道における凍結深さ
 （北海道開発局道路設計要領⁶⁾より引用）

3.1.3 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（図-3.5）。

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調査する必要がある。

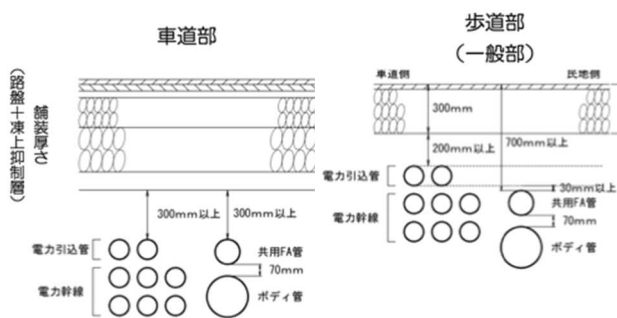


図-3.4 北海道における電線共同溝の埋設深さ基準
左）車道部、右）歩道部
（電線共同溝技術マニュアル⁷⁾より引用・加筆）

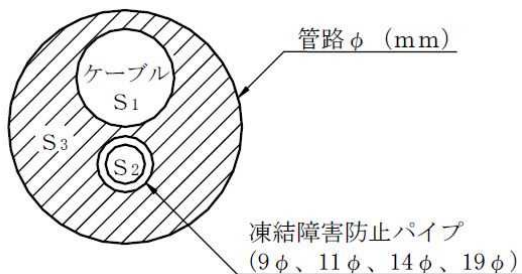


図-3.5 凍結障害防止パイプの概要図
（北海道開発局道路設計要領⁸⁾より引用）

3.2 管路内滞留水の要因に関する調査および考察

3.2.1 滞留水の状況調査および凍結障害事例の収集

1) 電線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電線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。

本調査箇所での埋設深さは概ね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、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、凹部において水が管路に満水近く滞留している区間や（写真-3.1 左）、管路から特殊部に漏水している状況もあった（写真-3.1 右）。

2) 電線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-3.2）。これらの出水は、地下水の影響などが考えられる。このように、地中に埋設される管路は、周辺の状況によっては常に水にさらされていると考えられる。

3) 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、ケーブルの通信障害が発生した事例もみられた（写真-3.3）。

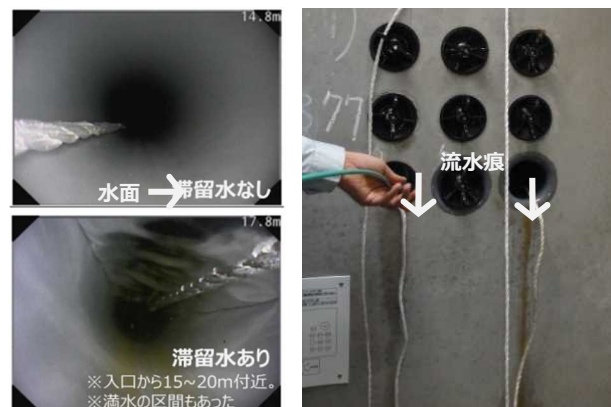
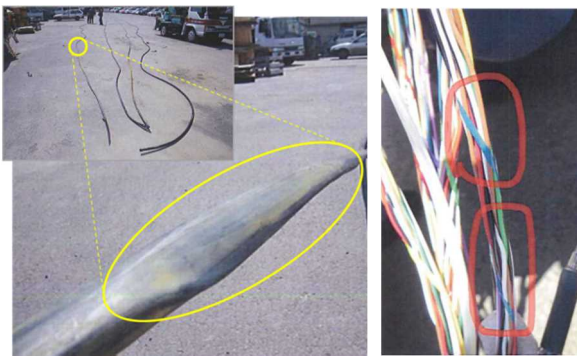


写真-3.1 左）通信管路内の滞留水の状況
右）管路から特殊部への漏水の痕跡



写真-3.2 掘削地盤内の出水状況

写真-3.3 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)

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を超える地域であったことから、管路内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。

3.2.2 水が滞留する要因に関する考察

水が滞留する要因は、3.2.1.1)にてみられた管路の接続部分からの浸入の他、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、3.2.1.2)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浸入を防ぐための対策は必要であると考えられるが、実際に水の浸入を防ぐことは困難と言わざるを得ない。

また、本調査では管路内の結露も部分的に認められた。管路内の結露が繰り返されることで、どの程度の滞留水が発生するのかは確認できていないものの、今回現地調査を行った対象地の状況をみる限り、結露による影響は管路外部からの水の浸入と比較して少ないものと考えられる。

3.2.3 滞留水凍結による影響を防ぐための対策技術

凍結がケーブルにどの程度影響を与えるのかについて、室内や現場での実験を踏まえた考察が必要であることから、著者らはH27年に室内において光ケーブル管路の凍結実験を行った。試行的実験ではあるが、ケーブルへの影響は見受けられず、寒冷地でも浅層埋設を行って支障がないケースがあることを確認した。詳細については、3.3で述べる。

凍結障害防止パイプについてはこれまでも採用された実績があるが、今後本格的に浅層埋設を推進していく上では、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必要である。また、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方法の検討も有効であると考えられる。

3.3 屋内での光ケーブル管路滞留水の凍結実験

3.3.1 実験方法

1) 実験の概要

本実験では、通信用光ケーブルを敷設した埋設管路をモデルとして、両端に通信性能を測定できる計測機器を設置した供試体を作製し、室内実験において供試体の凍結融解による通信への影響について検証した。具体的な測定内容は、「通信減衰量の光源測定」と「障害箇所の把握」である。

供試体の概要を図-3.6、写真-3.4に示す。供試体には、電線共同溝事業で実際に使用されているものと同様の、200芯の光ケーブル(SM-200C)およびケーブル収容に用いられるVE管(直径82mm)を採用し、7mの光ケーブルのうち中央の1m部分について、直線管路で収納・密封した供試体を6本作製した。また、管路内の滞留水の状況を再現するため、図-3.7に示すとおり、管内を満水状態にした供試体(以後、満水パターン)を3本と、管内の半分まで水を入れた供試体(以後、半水パターン)を3本用意した。

実験は、寒地土木研究所が所有する凍結融解室にて行い、昼間(9:00-17:00)は23℃、夜間(17:00-翌9:00)は-18℃になるような1日1サイクルの室温設定で供試体を設置した。凍結・融解時の通信障害の有無を確認するため、表-3.1に示す通り、供試体組立て後に1回、凍結・融解の各状態で2回の計5回測定を行った。

対象の光ケーブル断面には、4芯からなるテープが中心に向かって5枚積層している。これが円を描くように合計200芯の光ケーブルを成している。このうち管

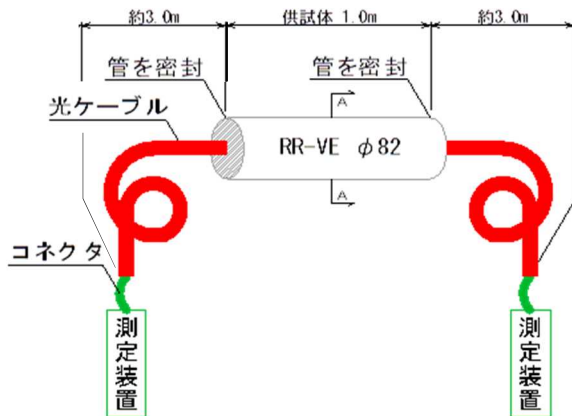


図-3.6 作製した供試体のイメージ



写真-3.4 作製した供試体

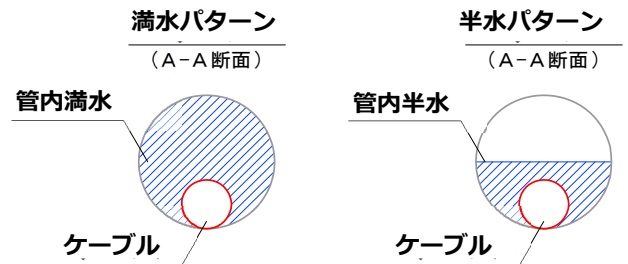


図-3.7 滞留水の再現パターン

表-3.1 測定概要

日時	測定No.	測定時の供試体状況
2016 年2 月 8 日(月)13:30～	光源測定①	供試体組立時
2016 年2 月 9 日(火) 7:00～	光源測定②	供試体凍結時
2016 年2 月 9 日(火)16:30～	光源測定③	供試体融解時
2016 年2 月10 日(水) 7:00～	光源測定④	供試体凍結時
2016 年2 月10 日(水)16:30～	光源測定⑤	供試体融解時

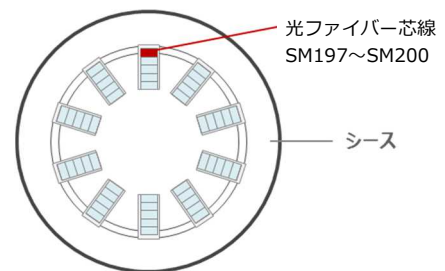


図-3.8 光ケーブル断面イメージと測定箇所

路内の水の凍結膨張による圧迫で最も変位が現れると考えられる一番外側のテープの4芯（SM197～SM200）を測定対象とした（図-3.8）。

2) 通信減衰量の分析方法

今回の実験では、供試体の光ケーブル両端に光源出力機器および光源受光機器を取り付けて通信減衰量の測定を行った。その測定結果に基づく「実際の損失値（基準値と供試体測定値の差）」と、算出した規格値である「回線損失値」とを比較する方法で通信減衰量の分析を行った。以下に具体的な分析方法を示す。

まず、基準値は、図-3.9に示すとおり光源出力機器にて光源を出力し、テストコードを介して反対方向の光源受光機器にて光源を測定した。この時、A方向とB方向を測定し、平均値を基準値P1とした。

この基準値は、5回の実験ごとに測定している。次に供試体測定値は、図-3.10に示すとおり、供試体ごとに

A, B方向ともに4芯×3回を測定し、A, B方向を合わせた平均値を各芯の供試体測定値P2とした。

一方、光ケーブルの性能を満たす基準となる回線損失値は、表-3.2 に示したとおり、JIS 規格で定められている各接続部の最大損失に基づいて算出し、1.32 であると想定した。損失値（P1-P2）＜回線損失値（1.32）であれば、光ケーブルは性能を満たした状態である。

表-3.2 損失規格値の算出式

回線損失値(dB)	
= 光ファイバケーブル伝送損失規格値(dB/km) × 光ファイバケーブル長(km) … ①	
+ 接続損失値(dB/箇所) × 接続箇所数(箇所) … ②	
+ アダプタ接続損失値(dB/箇所) × アダプタ接続箇所数(箇所) … ③	
① 光ファイバケーブル伝送損失規格値(dB/km)	: 0.4
② 接続損失値(dB/箇所)	: 0.15
③ コネクタアダプタ接続損失値(dB/箇所)	: 0.5
※回線損失値 (dB) = (0.4×0.05) + (0.15×2) + (0.5×2) = 1.32(dB)	
※CC-Link IE コントローラネットワーク敷設マニュアルより… (CC-Link 協会) ⁹⁾	

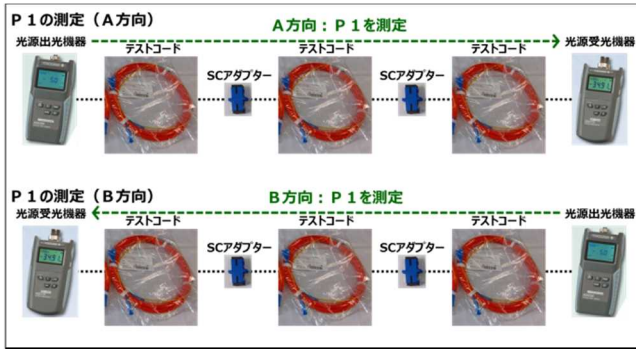


図-3.9 基準値 P1 の測定方法

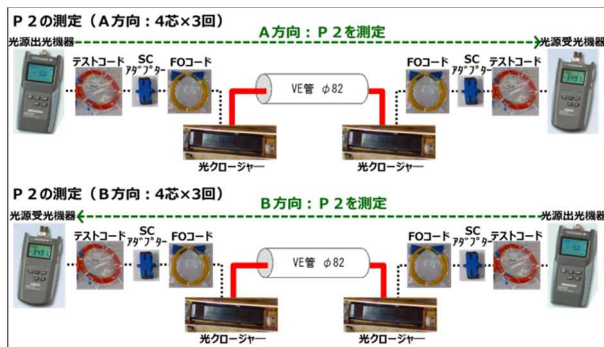
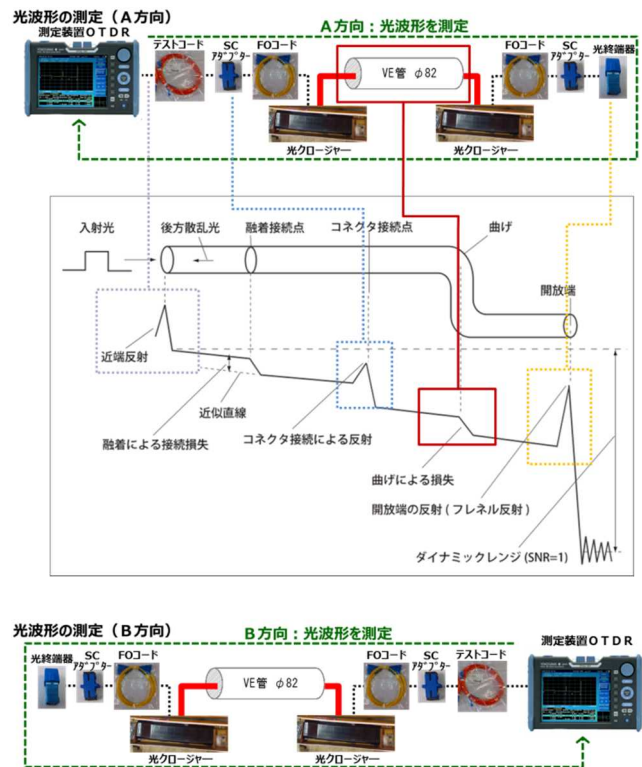


図-3.10 供試体測定値 P2 の測定方法



近端反射

機器と光ケーブルを接続するコネクタの接続点で反射する。この区間の近端デッドゾーンという。

コネクタ接続による反射

コネクタ接続箇所でも反射光によるピークが発生し、その近傍の細かい損失情報が見えなくなる

損失観測箇所

管内滞水の凍結により、曲げおよび断線が発生した場合、光波形は左図のように下降する。

開放端の反射

光ケーブルに光を入射したとき、破断している箇所やケーブル終端等で発生する反射。

図-3.11 OTDR 装置による障害箇所 の測定方法

3) 障害箇所の把握手法

光源レベルの減衰量の測定だけでは、どの芯のどの部分で支障が発生したかを知ることはできない。そこで、図-3.11 に示すイメージのとおり、光パルス波形の変化を測定し、損失が生じる箇所を波形で観測することとした。光パルス波形は、片方に測定装置（OTDR）を接続し、反対方向には光終端器を設置し測定した。測定は、A, B 方向ともに 4 芯分を測定し、光ケーブルの通信障害や断線の有無を確認した。

3.3.2 実験結果と考察

1) 管路およびケーブルの状況

本実験では、管の両端部に蓋を設置することで、管内の水が凍結時に膨張することによりケーブルに生じる圧迫の負荷を他に逃がさないように実施した。凍結後、満水パターンの供試体では写真-3.5 のように蓋を押し破るようにして膨張した水が露出していた。半水パターンの供試体では変化はなかった。管路内部の凍結状況を写真-3.6 に示す。供試体の管径は、凍結時にも変化はなかった。また、いずれのケーブルにも外傷はみられなかった。



写真-3.5 満水凍結後の供試体蓋部

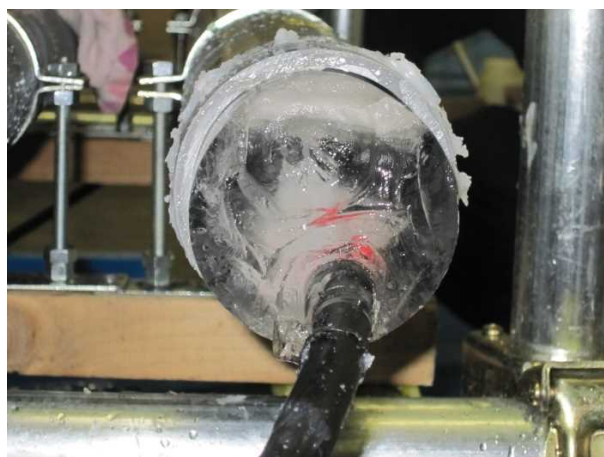


写真-3.6 凍結後の供試体内部
(上：満水 下：半水)

2) 通信減衰量の測定結果

各供試体の測定結果を図-3.12に示す。損失値の測定結果には、光ケーブル内の反射に伴うゆらぎによって生じるプラスやマイナスのばらつきがみられるが、いずれも規格値を満足している。以上から、本実験で採用した供試体の様に200芯の光ケーブルが管路内に直線的に配置されている場合、管内滞留水の凍結による圧迫が通信性能へ影響を与えないことが確認された。

3) 障害箇所の測定結果

光パルス波形の測定は、光源レベルの測定で異常があった場合に、どの箇所で損失が生じたのかを把握する目的で実施した。しかし、特に損失は確認されず、図-3.13に示すようにいずれの光パルス波形でも異常は確認されなかった。

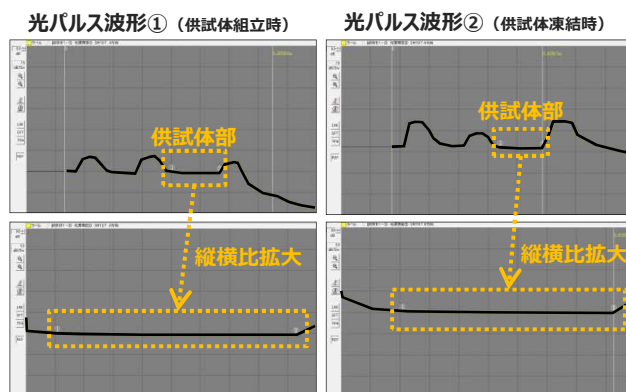


図-3.13 光パルス測定結果の例
(出力した波形を見やすくするため一部加筆)

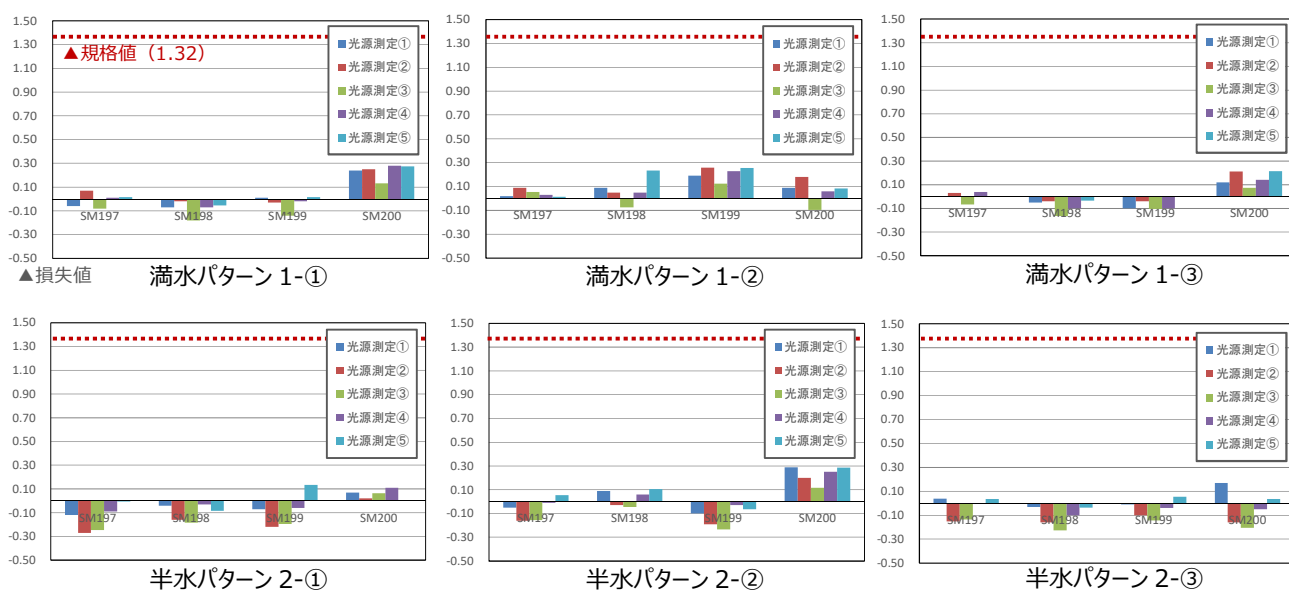


図-3.12 各供試体の測定結果

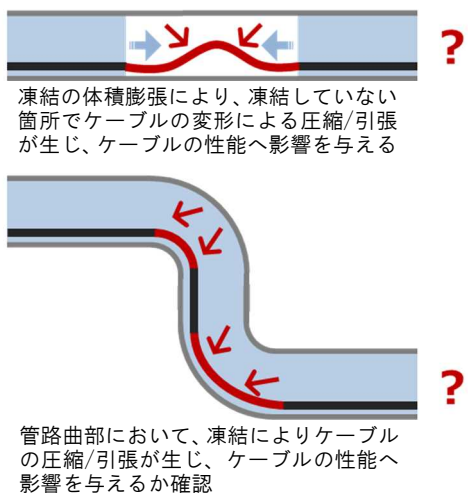
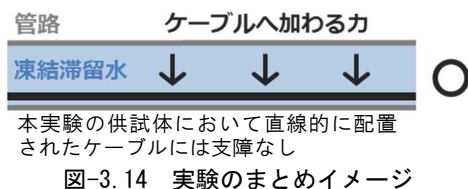
4) 考察

図-3.14に本実験のまとめのイメージを示す。本実験で実施したような、管路の供試体に200芯の光ケーブルが短く直線的に配置されているケースでは、室内での凍結融解実験の結果として支障は確認されなかった。

本実験は、管の両端部に蓋を設置することで、管内の水が凍結時に膨張することによりケーブルに生じる圧迫の負荷を他に逃がさないように実施した。以上を考慮すると、管路内滞留水の凍結膨張による圧迫状況においてもケーブルへの影響がみられないケースがあることと、そのような状況下において浅層埋設が実施できる可能性があることを明らかにできたと言える。

一方で、実際の地中埋設は延長が長く、直線的な配置だけではなく管路の屈曲も存在する。事業者からはそのような状況における凍結時の影響についても懸念されていることから、現場の状況に近い管路の屈曲や埋設状況を再現した上で、管路内で水がどのように凍結するのか、それが光ケーブルに影響を与えるかを把握することも必要であると考えられる。

以上の観点から、著者らは図-3.15に示すような考えのもと、凍結によりケーブルの変形や曲げが生じた箇所の影響について、2017年1月に屋外での管路凍結実験を実施した。詳細については、3.4で述べる。



3.4 屋外での光ケーブル管路滞留水の凍結実験

3.4.1 実験方法

本実験では、管路内滞留水の凍結に着目し、実際の埋設管路の屈曲や満水になった状況を供試体で再現した屋外暴露実験を行い、管路内滞留水の凍結が通信性能へ与える影響の有無、及び管路内滞留水がどのように凍結するのかについて考察した。

実験の概要を表-3.3に示す。実験は、2組の管路及び光ケーブルからなる供試体を用い、通信減衰量の測定を行った。

1) 供試体の概要

供試体のケーブルは、発熱する電力線と比べて凍結による障害のリスクが高い通信の光ケーブルを対象とし、電線共同溝事業で使用されるものと同様の200芯光ケーブルを採用した。管路材料には、凍結の状況を確認するため透明VU管を採用した。この理由として、多くの通信事業者は幹線管路としてVE管を用いているが、VE管には透明な管がないこと、VU管とVE管の材質はいずれも塩化ビニルであることから、本実験では透明VU管を使用した。

また、供試体は2種類とし、供試体1は一般道路の敷設を想定し直線形状、供試体2は建物への引き込みや道路構造物への添架を想定し、凹部2箇所を有する曲線形状とした。さらに、管路内滞留水の状況を再現するため、供試体1は満水、供試体2の凹部の1箇所は満水、もう1箇所は半水にし、計3パターンを観察した。

供試体の概要を図-3.16及び写真-3.7に示す。

表-3.3 実験概要

実施期間	平成29年1月23日～29日	
実施場所	寒地土木研究所構内（屋外）	
実験方法	暴露試験	
供試体	ケーブル	光ケーブルSM-200
	管路材料	透明VU管
	管路形状	供試体1：10m直線（満水） 供試体2：3mの凹部2箇所 うち、屈曲部両側45度曲線（満水） 屈曲部45度、90度曲線（半没水）
測定項目及び方法	通信減衰量	光源レベル測定 測定波長1.31μm、ロギング5秒間隔
	障害箇所把握	光パルス波形成測定（OTDR） 測定波長1.31/1.55/1.625μm、ロギング60秒間隔
	滞留水凍結状況	目視及びモニタカメラ（3台）
	外気温、管内温度	ロギング5秒間隔

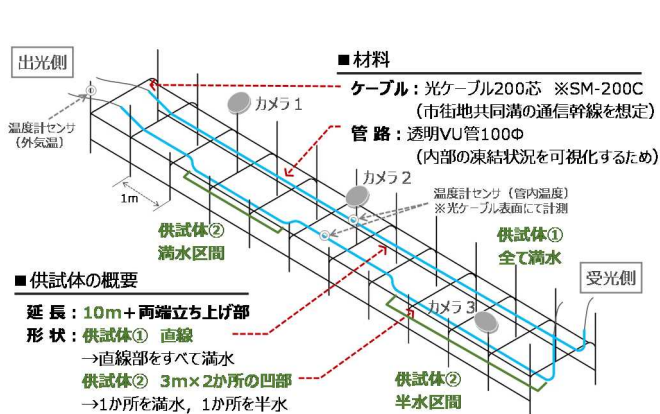


図-3.16 実験に用いた供試体のイメージ図

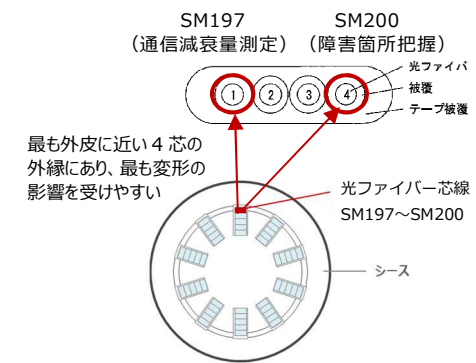


図-3.17 光ケーブル断面イメージと測定箇所



写真-3.7 実験に用いた供試体

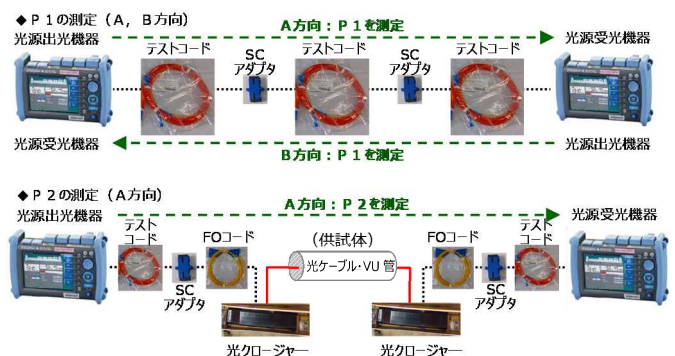


図-3.18 出光値（P1）及び受光値（P2）測定方法

2) 測定項目と方法

測定項目は、「通信減衰量の測定」、「障害箇所の把握」及び「管路内滞留水凍結状況の観察」とし、測定は期間中24時間継続して行った。対象の光ケーブル断面は、4芯からなるテープが中心に向かって5枚積層した構造となっている。これが円を描くように合計200芯の光ケーブルを成している。このうち管路内滞留水の凍結膨張による圧迫で最も変位が現れると考えられる一番外側のテープの4芯の外縁にあるSM197とSM200を測定対象とし（図-3.17）、通信減衰量の測定及び障害箇所の把握を試みた。

3) 通信減衰量の検証方法

今回の実験では、供試体の光ケーブル両端に光源出力機器及び光源受光機器を取り付けて通信減衰量の算出を行い、実施方法及び規格値の算出は、屋内試験同様にJIS C 6823及びCC-Link協会⁹⁾に準じて実施した。つまり、「通信減衰量P(出光値P1と受光値P2の差)」と、

算出した「回線損失規格値Ps」を比較することにより、通信障害の有無を検証した。以下に具体的な方法を示す。

① 通信減衰量

通信減衰量Pを測定する際の模式図を図-3.18に示す。出光値P1は、光源出力機器にて光源を出力し、3本のテストコードを介して、反対方向の光源受光機器にて光出力レベルを測定した。この時、A方向とB方向を測定し、各3回測定した平均値を出光値P1[dBm]とした。供試体を介した受光値P2測定中の出光値は測定できないため、出光値P1の測定は事前に行った。

次に、受光値P2は、各供試体の光ケーブルの一端に光源出力機器、もう一端に光源受光機器を取り付け、供試体を通過した際の光出力レベルを測定し、受光値P2[dBm]とした。その上で、測定した出光値P1と受光値P2の差を、通信減衰量P[dB]（ $P=P1-P2$ ）として算出した。

② 回線損失規格値

光ケーブルの性能を満たす基準となる回線損失規格値 P_s は、表-3.2に示すとおり、屋内試験と同様にJIS規格⁹⁾で定められている各接続部の最大損失に基づいて算出し、測定波長1.31[μm]において1.32[dB]であると想定した。この値を基準とし、測定により算出する通信減衰量 P [dB]<回線損失規格値 P_s (1.32[dB])であれば、光ケーブルは性能を満たした状態であると判断できる。

4) 障害箇所の把握方法

光源レベルの通信減衰量の測定だけでは、光ケーブルのどの芯のどの位置で支障が発生したかを知ることができない。そこで、光パルス波形の変化を測定し、損失が生じる箇所を波形で観測した。測定の際の模式図を図-3.19に示す。光パルス波形は、片方に測定装置(OTDR)を接続し、反対方向に光終端器を設置し測定した。供試体1・2とも一方方向に1芯分(SM200)を測定し、光ケーブルの通信障害や断線の有無を確認した。

5) 滞留水の凍結状況の観察

凍結の状況は目視及びモニタカメラ3台で観測した。モニタカメラによる観察位置は図-3.16のとおりであり、供試体の両端に各1台と、供試体2の満水屈曲部において、凍結の進行状況と体積膨張変位を観察した。また、ケーブルにマーキングを施し、ケーブルの移動を目視で確認した。

3.4.2 実験結果と考察

1) 結果

本実験では、実験期間の全日程で外気温0度以下を記

録した。結果は、供試体1・2いずれも2回管路内滞留水が全て凍結し、管路軸方向へ水の体積が10%膨張している状況を確認した。

① 通信減衰量の測定結果

測定結果を表-3.5及び図-3.20に示す。供試体1における通信減衰量 P は-0.586~0.077[dB]、供試体2においては-0.028~0.087[dB]であり、いずれも回線損失規格値 P_s (1.32[dB])より十分小さい結果となった。

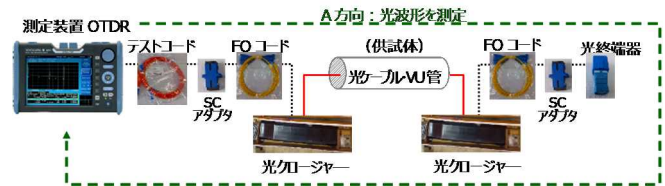


図-3.19 OTDR装置による障害箇所の測定方法



図-3.20 通信減衰量 P の測定結果例（供試体1）

表-3.5 通信減衰量 P の測定結果

日付	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6~7日目
開始時刻	2017/1/23 12:26	2017/1/24 13:03	2017/1/25 13:01	2017/1/26 13:00	2017/1/27 13:00	2017/1/28 13:20
終了時刻	2017/1/24 13:03	2017/1/25 13:00	2017/1/26 13:00	2017/1/27 13:00	2017/1/28 13:21	2017/1/30 9:00
P1(出光値)	-3.540 dBm	-3.540 dBm	-3.540 dBm	-3.540 dBm	-3.540 dBm	-3.540 dBm
供試体1						
P2最小値時刻	2017/1/24 07:41	2017/1/24 13:03	2017/1/25 16:41	2017/1/27 12:56	2017/1/27 16:30	2017/1/28 13:21
P2最小値	-3.617 dBm	-3.393 dBm	-3.379 dBm	-3.362 dBm	-3.367 dBm	-3.372 dBm
$P=P1-P2$	0.077 dB	-0.147 dB	-0.161 dB	-0.178 dB	-0.173 dB	-0.168 dB
外気温	-12.9 °C	-5.4 °C	-2.9 °C	3.0 °C	3.2 °C	-2.2 °C
管内温度	0.1 °C	0.2 °C	0.6 °C	0.3 °C	0.7 °C	0.6 °C
供試体2						
P2最小値時刻	2017/1/23 12:48	2017/1/25 09:38	2017/1/26 09:29	2017/1/26 16:33	2017/1/28 12:32	2017/1/28 13:21
P2最小値	-3.627 dBm	-3.625 dBm	-3.581 dBm	-3.574 dBm	-3.596 dBm	-3.595 dBm
$P=P1-P2$	0.087 dB	0.085 dB	0.041 dB	0.034 dB	0.056 dB	0.055 dB
外気温	-	-4.6 °C	0.8 °C	-1.0 °C	-2.4 °C	-2.2 °C
管内温度	-	-1.0 °C	3.4 °C	-0.4 °C	1.6 °C	1.2 °C

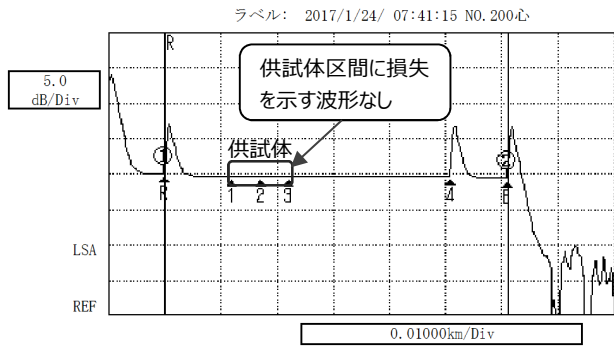


図-3.21 光パルス波形測定結果例（供試体2）

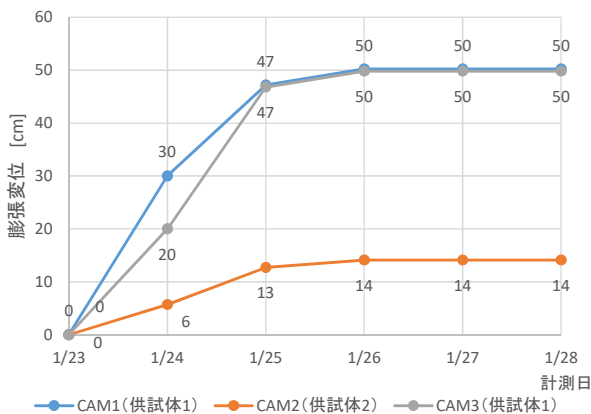


図-3.22 凍結による体積膨張変位

② 障害箇所の把握結果

光パルス波形測定において、供試体1・2いずれも測定全期間において損失を示す波形は出ておらず、通信障害を生じずに光源を受光し続けた結果を確認した。光パルス波形測定結果例を図-3.21に示す。

③ 管路内滞留水の凍結状況の観察結果

凍結による体積膨張変位を図-3.22に示す。供試体1・2とも氷の生成により体積膨張が起こり、管内水の表面が上昇した。管路内滞留水が満水の状況においては、管の中心部に向かって徐々に凍結が生じ、凍結前の水は両端側から滲み出した後凍結するというプロセスを繰り返し最終的に全て凍結した。この凍結時の体積膨張や氷の移動によるケーブルの移動は、ケーブルのマーキング位置の目視確認からも確認されなかった。

2) 考察

① 通信障害の有無について

供試体1・2いずれも、全期間にわたって通信減衰量Pは回線損失規格値Psより十分小さい結果であった。こ

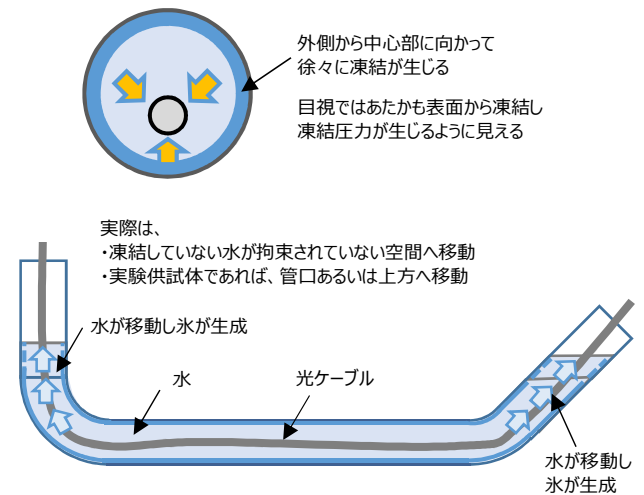


図-3.23 凍結メカニズム

のことから、本実験の条件においては管路内滞留水の凍結が通信性能へ影響を与えなかったことを確認した。

本実験で光の強さが増幅することは考えられないが、わずかながら出光値P1よりも受光値P2が大きくなり、通信減衰量Pがマイナスを示した結果があった。これについては、光パルス波形では大きな変動を生じていないことから、受光値P2測定時における実際の出光値が微弱ながらも変動し、通信減衰量Pがマイナス値を示したと考えられる。また、本実験の目的である光ケーブルの通信障害の確認の観点からは、受光は確実に実行されており、通信減衰量Pが回線損失規格値Psと比較して十分小さい値であることから、凍結を原因とした通信障害は起きていないものと判断した。

② 管路内滞留水の凍結メカニズム

観察に基づく凍結メカニズムを図-3.23に示す。実験期間中、開放された管の両端あるいは上方の空間に水が移動し、その後凍結して氷が生成されるというサイクルを繰り返した。このことから、管路内滞留水が全て凍結しても、光ケーブルにはその凍結による圧力が作用しにくいと考えられる。

今回観察した凍結メカニズムや、ケーブルへの影響がみられなかった結果を踏まえると、管路内滞水が凍結したとしても、水が移動できる開放された空間がある状況下であれば、光ケーブルには大きな圧縮・引張力は作用しないと考えられる。そのため、上述のような空間がある状況下であれば、寒冷地においても浅層埋設が実施できる可能性があることを明らかにできたと考えている。

3.5 実道への適用

3.5.1 北海道での浅層化事例（千歳市）

前章までの屋内・屋外凍結実験の結果に基づいて、2017 年度に北海道千歳市の支笏湖温泉地区の簡易水道施設管理用の埋設ケーブル（電力、制御・通信）更新工事（写真-3.8）で、低コスト化のために浅層埋設方式が採用された。この工事では、管路土被りを従来の120cmから60cmに浅層化（図-3.24）し土工量の減少させるなどにより、8%のコスト削減がなされた。

さらに、埋設管路が凍上に与える影響を検証するため、施工後の冬期に入る2018.11と厳冬期である2019.2に道路縦断を計測した。その際、路肩側に埋め戻し範囲外に引照点（写真-3.9）を設置し、埋設位置との比較ができるようにした。

計測結果は、埋設位置で平均12mm、最大22mm程度の差、埋戻し範囲外にある引照点で平均43mmの差（表-3.6）となった。ここでは、懸案だった埋設位置での



写真-3.9 浅層埋設箇所と引照点（2019.2.15）

表-3.6 埋設位置と引照点での標高差

本線(埋設位置) 単位m				引照点(本線から2.8m離れた位置)			
測点	2018.11	2019.12	差	測点	2018.11	2019.12	差
101	265.746	265.743	-0.003	101	265.786	265.824	0.038
102	265.653	265.668	0.015	102	265.696	265.74	0.044
110	264.824	264.834	0.01	110	264.818	264.864	0.046
120	263.796	263.812	0.016	120	263.908	263.945	0.037
130	262.943	262.952	0.009	130	263.037	263.079	0.042
140	262.109	262.115	0.006	140	262.301	262.353	0.052
150	261.265	261.28	0.015	150	261.386	261.451	0.065
160	260.351	260.373	0.022	160	260.442	260.493	0.051
170	259.508	259.529	0.021	170	259.524	259.564	0.04
180	258.518	258.535	0.017	180	258.562	258.6	0.038
190	257.295	257.308	0.013	190	257.383	257.424	0.041
200	256.075	256.09	0.015	200	256.113	256.159	0.046
210	254.556	254.566	0.01	210	254.686	254.72	0.034
217	253.613	253.623	0.01	217	253.789	253.829	0.04
218	253.493	253.498	0.005	218	253.705	253.734	0.029
			平均				平均
			最小				最小
			最大				最大
			0.012				0.043
			-0.003				0.029
			0.022				0.065



写真-3.8 浅層埋設の施工状況（千歳市提供）

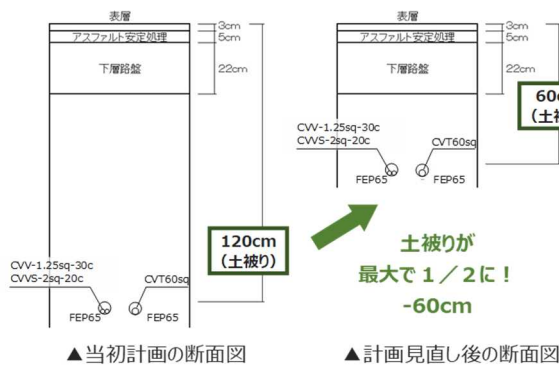


図-3.24 当初計画と見直し後の断面図

特異な異常は確認できず、浅層埋設管路が道路の凍上等に影響はほとんど無いと考えられる。なお、これまでに電力供給、制御・通信に支障は発生していない。

3.5.2 実用化に向けた影響検証実験（美深町）

2018年度冬期から北海道美深町の道道において、歩道の最小土被りを13cm（凍結考慮の標準的な埋設深さ50cm）とした実証実験（図-3.25）が行われている。この実験は電線管理者（電力事業者、通信事業者、ケーブルTV事業者）と道路管理者で組織される北海道無電柱化推進協議会の元に設置された低コスト化ワーキンググループ（写真-3.11）に、当研究所が参画して実施している。

この実験は、浅層埋設の寒冷地での実用化に向けた知見を得ることを目的としている。道路管理者は舗装の健全性検証のための舗装基面高さ計測、電力事業者は管路内の温度計測と浸水した管路内でのケーブルの施工性や健全性の確認、通信事業者は光ケーブルの通

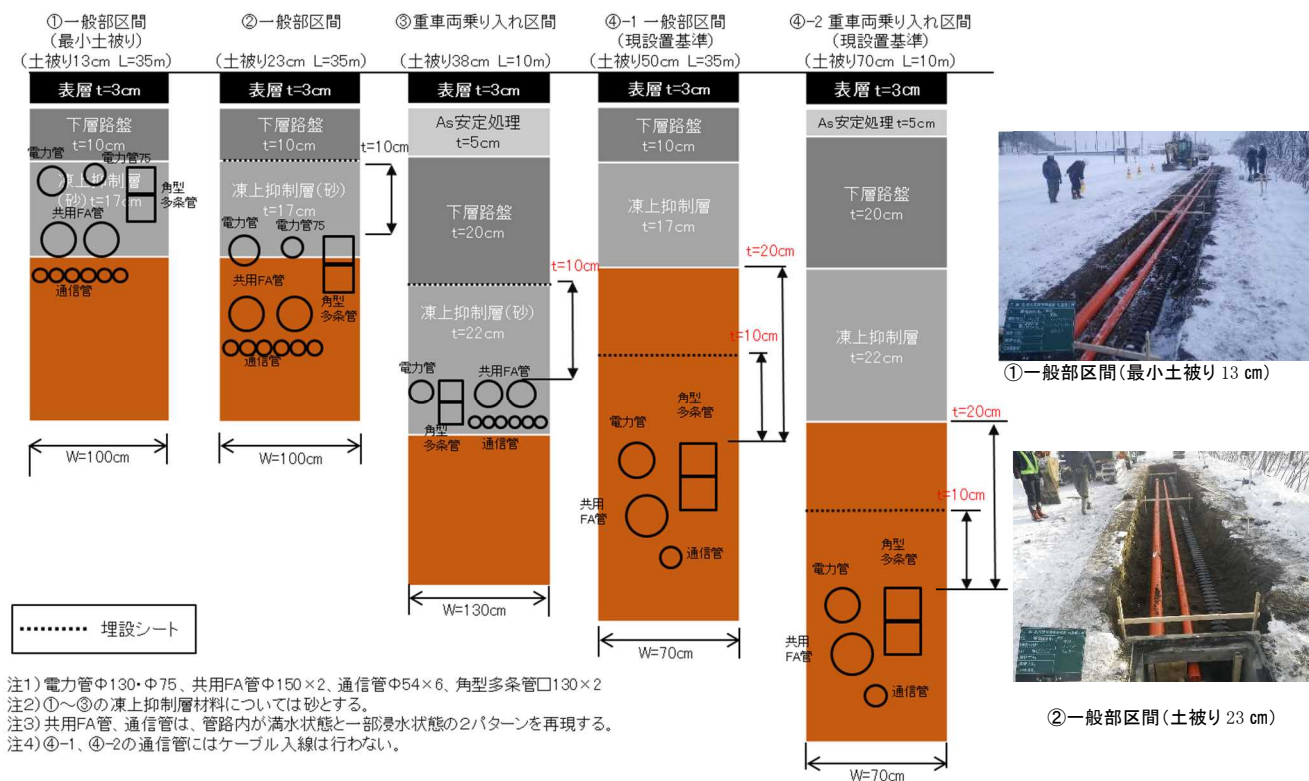


図-3.25 試験施工パターン図

写真-3.11 北海道無電柱化推進協議会 低コストWG
(委員：道路・電線管理者、寒地土研)

信損失とメタルケーブルの導通試験等をそれぞれ実施し、浅層化による影響の確認を行っている。2019.1～3の舗装基面高さの計測では±3mm程度の動きがみられ、路盤が凍結融解を繰り返していることが確認されているが大きな影響を与える動きとはなっていない。

3.5.2 技術基準への反映

この実験の成果は、同協議会が発行している北海道電線共同溝マニュアルに反映される予定であり、寒冷地での浅層埋設手法の本格的な採用と、それによる電線類地中化の推進に寄与することが期待されている。

4. 郊外部における効率的な施工技術の提案

電線類地中化の実績が豊富な欧米などでは、ケーブルの直接埋設や管路埋設の仕様に合わせたトレンチャーなどの専用機械（写真-4.1 左）が導入されており、油圧ショベルによる掘削（写真-4.1 右）が主体である国内と比較して大幅に短時間での施工が可能となっている。国内においてもこのような専用機械の導入を図ることで、施工性の向上が期待できる。

そこで、北海道のような魅力的な景観を有する郊外地において、施工条件に適合した低コスト・高効率の機械仕様を検討することを目的に、海外の施工機械メーカーを対象としてアンケート調査を行った。加えて国内でレンタル可能な機種による、掘削および埋戻

写真-4.1 左：海外における専用機械による施工例
ウェブページより引用¹⁰⁾
右：国内における油圧ショベルによる施工例
北海道内自治体提供

し・締固めまでの一連の作業を想定した施工試験を行った。これらの調査および試験結果をとりまとめ、専用機械（トレンチャー）を活用した施工に関する技術資料の作成を行った。

4. 1 ケーブル埋設用掘削機械の実態調査

ケーブル埋設用掘削機械の実態を把握するため、機械の概要、施工事例および国内での販売体制について調査を実施した。調査方法は、インターネットによる調査およびケーブル埋設用掘削機械を製作しているメーカーへのアンケート調査とした。

4. 1. 1 ケーブル埋設用掘削機械の概要

インターネットによる調査の結果、ケーブル埋設用掘削機械のメーカーは、欧米を中心に 14 社（フランス 3 社、イタリア 2 社、イギリス 2 社、アメリカ 4 社、スウェーデン 1 社、ドイツ 1 社、オーストラリア 1 社）が確認され、多数存在していることがわかった。

ケーブル埋設用掘削機械としては、主にトレンチャーが使用されており、固い岩盤やアスファルトの掘削が可能なものや、掘削と同時に土砂積込やケーブル敷設が可能なものなどがある。

インターネット調査で確認できたメーカーを対象にアンケート調査を実施し、5 社から回答を得た。なお、機械総質量が 100t を超える製品も販売されているが、今回の調査では、国内での運搬が困難である機械総質量が 35t を超えるものは対象外とした。

トレンチャーの代表的な機械方式と掘削機構を表-4.1 に示す。なお、掘削機構の呼称はメーカーにより異なる場合がある。

機械方式は、専用機械とアタッチメント型に分けられる。専用機械はクローラまたは車輪を有するベース車両に作業装置が装備されているもので、車両構造や操作方法がトレンチャー掘削に適した設計となっている。一方、アタッチメント型はトラクタやスキッドステアローダなどの汎用機械に装着して使用するもので、専用機械に比べて安価である。

掘削機構は、ホイール式とチェーン式に分けられる。ホイール式は岩盤などの固い地盤の掘削に適しており、チェーン式は深く掘削する場合に適している。道路の表面をホイール式で掘削した後、チェーン式で深く掘削する場合もある。

掘削可能な地盤条件としてレキ質土、砂質土、粘性土のほかに、コンクリート舗装、アスファルト舗装、岩塊玉石・岩について対応している機械もある。なお、

砂地や水分の多い地盤の場合、掘削溝が崩れやすく注意が必要である。

掘削機構にはチルト機構やオフセット機構を有するものがあり、掘削の位置や角度を微調整することが可能となっている。

ホイール式やチェーン式の機械については、地盤条件に合わせて掘削刃を選択して取り付けることが可能である。掘削刃にはカップタイプ、ビットタイプ、超硬タイプなどがあり、これらを組み合わせて取り付けることにより、現場条件に応じた作業が可能となっている（図-4.1）。

調査で回答を得たメーカー 5 社の機械の特徴を表-4.2 に示す。掘削機構は、フランスの 2 社とイギリスの 1 社はホイール式が多いのに対し、アメリカの 1 社はチェーン式が多い。また、機械総質量は、フランスの 2 社は 10t 以上が多いのに対し、イギリスの 1 社とアメリカの 2 社は 10t 未満が多いなど、国やメーカーにより特徴が見られる。

トレンチャーの機械総質量と最大掘削深さの関係を図-4.2 に示す。

表-4.1 代表的な機械方式と掘削機構

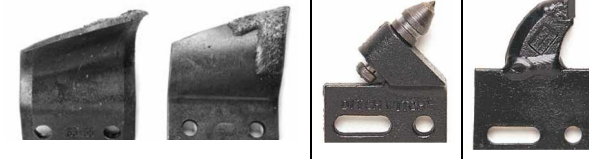
機 械 方 式	専用機械	アタッチメント型
	作業装置が専用のベース車両に一体的に装備されているもの  ウェブページより引用 ¹¹⁾	トラクター、スキッドステアローダなどの汎用機械に装着して使用するもの  ウェブページより引用 ¹²⁾
掘 削 機 構	ホイール式	チェーン式
	ディスク状のホイールの円周上に掘削用の刃が付いたもの  ウェブページより引用 ¹¹⁾	楕円状のチェーンに掘削用の刃が付いたもの  ウェブページより引用 ¹¹⁾
		
カップタイプ ビットタイプ 超硬タイプ		

図-4.1 掘削刃の例

最大掘削深さは、ホイール式が450～1,600mmで平均913mm、チェーン式が762～1,829mmで平均1,307mmとなっており、チェーン式の方が大きい傾向にある。ホイール式は、最大掘削深さの約2倍のホイール直径が必要であり装置が大きくなるため、掘削機構で比べると、チェーン式の方が比較的小型でもより深い掘削に対応できる。

表-4.2 メーカー5社の機械の特徴

	国名	回答 機種数	機械方式	掘削機構		機械総質量※		同時施工 可能作業
				ホイール	チェーン	10t未満	10t以上	
A社	フランス	7機種	専用機械	6機種	1機種	2機種	5機種	ケーブル敷設 7機種 埋め戻し 4機種 残土処理 2機種
B社	フランス	5機種	専用機械	5機種 (付替可能1機種)	1機種	1機種	4機種	ケーブル敷設 2機種 埋め戻し 2機種 残土処理 1機種
C社	イギリス	7機種	アタッチ メント型	5機種	2機種	5機種 (不明2機種)		ケーブル敷設 3機種 残土処理 5機種
D社	アメリカ	10機種	専用機械	2機種 (付替可能2機種)	10機種	9機種	1機種	ケーブル敷設 6機種 残土処理 3機種
E社	アメリカ	8機種	アタッチ メント型	5機種	3機種	8機種		

※機械方式がアタッチメント型の機械総質量は、想定されるベース機械の質量を含む。

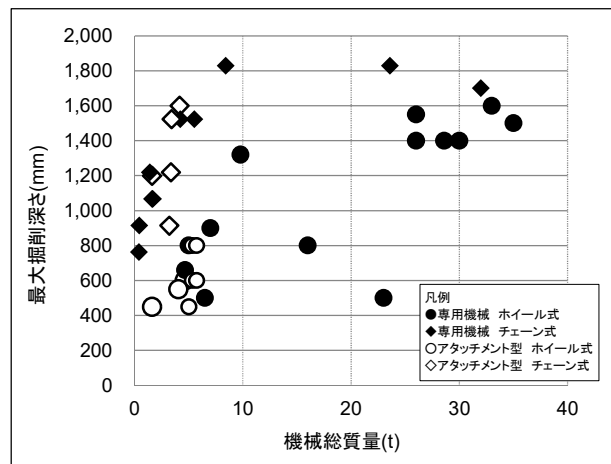


図-4.2 機械総質量と最大掘削深さの関係

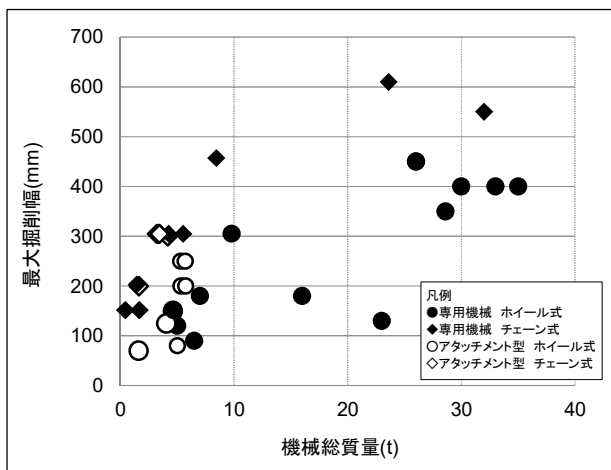


図-4.3 機械総質量と最大掘削幅の関係

機械総質量と最大掘削幅の関係を図-4.3に示す。

最大掘削幅はホイール式が70～450mmで平均235mm、チェーン式が120～610mmで平均287mmとなっており、チェーン式の方がやや大きい傾向にある。また、最大掘削幅が305mm以下のものが全体の約76%を占めており、幅の狭いものが多いことがわかった。

4.1.2 施工事例調査

アンケート調査結果から、試験施工を除く具体的な施工事例を表-4.3に示す。

電力線や通信線の直接埋設または管路埋設が行われており、施工場所は郊外部の未舗装路側、路肩、法面、および市街地の舗装路面下、未舗装路側となっている。

平均施工速度は、郊外部では750～857m/日、市街地

表-4.3 施工事例

区分	施工事例	施工 延長 (km)	施工 日数 (日)	平均 施工 速度 (m/日)
郊外部	①セヌエマルヌ77(フランス) ・農村部、路肩の電線地下埋設 ・未舗装路側 ・電力線3本×150mm ² ・施工金額:400,000€ ・土木コスト:13€/m ・使用機械:専用機械 26t ・掘削幅×掘削深さ:280mm×900mm ・ケーブル施工と埋め戻しを同時に施工	30	35	857
	②フランス ・郊外部の電力線の管路埋設 ・未舗装、路肩、法面 ・電力線3本、管路埋設 ・使用機械:アタッチメント型 ・掘削深さ:1000mm	30	40	750
市街地	①パリ近郊ビヤンクール ・街路のトレンチ、電線地下埋設 ・舗装路面下 ・2本TPC、φ63 ・施工金額:3,900,000€ ・土木コスト:65€/m ・使用機械:専用機械 23t ・掘削深さ:450mm ・ケーブル施工と埋め戻しを同時に施工	60	240	250
	②ショーモン(フランス) ・住宅街の道路にトレンチ施工 ・舗装路面と未舗装路側 ・3本HDPE、φ40 ・施工金額:1,750,000,000€ ・土木コスト:35,000€/m ・使用機械:専用機械 23t ・掘削幅×掘削深さ:100mm×400mm ・ケーブル施工と埋め戻しを同時に施工	50	110	455
	③クレマ(イタリア) ・住宅街の電話線地下埋設 ・舗装路面下 ・1本、管路埋設 ・使用機械:アタッチメント型	1	3	400
	④インド ・市街地、電力線の直接埋設 ・舗装路側 ・電力線1本、直接埋設 ・使用機械:アタッチメント型 ・掘削深さ:400mm	50	50	1,000

では 250～1,000m/日であり、市街地では大きな差がみられた。

国内の主な電線類地中化手法である電線共同溝方式では、施工速度が 10m/日程度で行われていることから、施工条件などに違いはあるが、諸外国では非常に速い施工速度で作業が行われていることがわかった。

4.1.3 国内における販売状況

調査の結果、国内に販売体制およびメンテナンス体制をもつトレンチャーの海外メーカーは 4 社であった。昨今の国内の無電柱化推進の機運にあわせ、国内での販売に参入する動きを見せているメーカーもあり、4 社のうち 1 社は平成 28 年度から新規参入したメーカーであるほか、アンケート調査を通じて国内進出に意欲を示すメーカーも 1 社あった。

4.1.4 国内での施工に伴う法律等

海外のトレンチャーを国内で使用する場合、一般的な機械と同じく、労働安全衛生法および関係法令で定められた規格や安全基準等を満足する必要がある。公道を走行する場合には、車両制限令および道路運送車両法に基づく保安基準への適合と、運輸支局等への登録が必要となる。公道を走行しない場合はオフロード特殊自動車に該当し、オフロード法による排出ガス基準に適合したものでなければならない。

また、国内の機械のアタッチメント装着方式には JIS 規格などが適用され、海外のアタッチメント装置がそのままでは装着できない場合があるので、留意が必要である。

4.1.5 掘削機械の施工箇所別要件

一般的な道路構造を車道部、路肩部、歩道部、道路法面部に分類し、各箇所で施工する場合に必要な掘削機械の要件を整理した。

全箇所共通した要件としては、施工能力が掘削幅、掘削深および適応地盤を満たす必要がある。縁石の段差などの支障により、掘削機械の走行位置に制限が生じる場合は、掘削時にオフセット機構が必要となる。横断方向の傾斜があり、垂直な掘削が必要となる場合は、チルト機構が必要となる。また、道路法に基づく車両の一般的制限値を超過する機械もあるため、国内での使用においては注意が必要である。

車道部の施工については、上記の要件を満たせばよい。路肩部の施工については、ガードレール等の工作物の外側を道路上から施工する必要がある場合、バッ

クハウのようなアーム（リンク）によるアタッチメント式が必要となる。歩道部の施工については、機械幅が歩道の幅員以下である必要がある。また、法面部の施工については、勾配によりその上を掘削機械が走行できない場合、掘削機械より外側にオフセット可能な機構を有したもの、もしくはバックハウのようなアーム（リンク）によるアタッチメント式が必要となる。

4.2 トレンチャーによる掘削試験

ケーブルは、主に歩道や路側、路肩など道路沿いに埋設されることが考えられる。しかし、国内におけるトレンチャーの使用実績をメーカーに聞き取りしたところ、主に農場やゴルフ場など土壌の軟らかい箇所の暗渠排水の掘削などに使用されており、道路敷地のような締め固まった箇所で使用された実績は確認できなかった。そこで、平成 27 年度に締め固まった地山におけるトレンチャーの掘削能力を確認し、平成 28 年度に道路路盤における掘削能力を検証した。

4.2.1 地山における掘削試験

試験した地山は、車両の走行を前提に整地した路盤ではなく、玉石混じりの埋戻し土や粘性土が締め固まった状況であった。試験に使用したトレンチャーは、国内でレンタルが可能であった 2 機種であり、いずれもアタッチメント型のチェーン式である。その外観および諸元を表-4.4 に示す。掘削深は 60cm、80cm、100cm の 3 条件とした。

試験の結果、2 機種とも 100cm の深さまで掘削可能

表-4.4 外観および諸元（地山掘削試験）

	掘削機械①	掘削機械②
外観・掘削状況		
		
機械方式	アタッチメント型	アタッチメント型
ベースマシン	農耕用トラクタ	スキッドステアローダ
掘削機構	チェーン式	チェーン式
掘削幅	150 mm	205 mm

であることを確認したが、掘削深と掘削速度の相関はみられなかった（図-4.4）。試験中に土中の玉石などにより掘削が途中で中断したことや、試験を実施した地山の土質が均一では無かったことが、掘削速度に影響したと考えられる。また、掘削機械②は、掘削機構に玉石などが詰まることにより、過負荷を防止する安全機構が作動して掘削機構が停止する頻度が高かった。掘削刃の取り付け状況は両者で異なっており、掘削機械①は刃数が少なく、掘削機械②は多かったが、この違いにより掘削機械②の方が大きな玉石などが掘削機構に詰まりやすかったと考えられる。

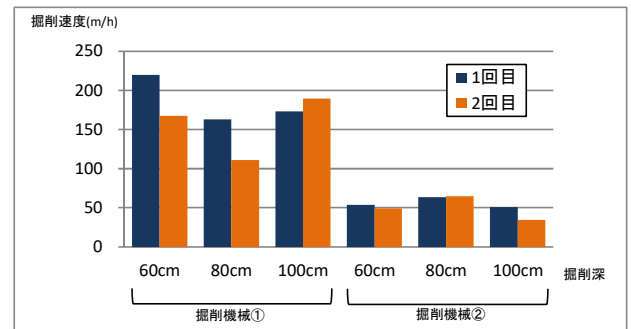


図-4.4 掘削深さと掘削速度（地山掘削）

4.2.2 道路路盤における掘削試験

無電柱化のためのケーブル埋設が想定される歩道や路側では、地域により路盤構成が決まっており、土質はほぼ均一になっていることから、道路路盤における掘削試験を実施し、掘削能力の検証を行った。

4.2.3 試験機械

試験に使用したトレンチャーの外観および諸元を表-4.5に示す。

掘削機械 A は、地山の試験で使用した掘削機械②と同じ機械である。

掘削機械 B は、トレンチ（溝掘り）用の専用機械である。掘削機構はチェーン式とホイール式の付け替えが可能で、平成 28 年度よりレンタルが可能となった。なお、地山の試験で使用した掘削機械①については、メーカーの都合でレンタルすることができなかった。

4.2.4 試験方法

試験は、北海道苫小牧市にある苫小牧寒地試験道路で実施した。試験箇所の外観および掘削箇所の路盤構成を図-4.5に示す。凍上被害を防止するため、下層路盤の下に厚さ 40cm の凍上抑制層がある。

掘削深は、平成 28 年 2 月に国土交通省から発出された「電線等の埋設物に関する設置基準の緩和について」に示されている埋設深さを参考に、30cm、41cm、50cm、60cm、75cm、87.5cm、100cm および 120cm の 8 段階に設定し、掘削延長は 40m（20m×2 回）とした。

なお、掘削試験は舗装版切断によりアスファルト 12cm（表層 3cm、基層 4cm、安定処理 5cm）を撤去したうえで実施した（写真-4.2）。これは、国内での施工時に必要な建設リサイクル法に基づく分別処理を考慮したものである。

表-4.5 外観および諸元（道路路盤掘削試験）

	掘削機械 A	掘削機械 B	
外観			
機械方式	アタッチメント型	専用機械	
ベースマシン	スキッドステアローダ	—	
掘削機構	チェーン式	チェーン式	ホイール式
装置取付位置	車体前方	車体後方	
全長	5,475 mm	5,375 mm	5,449mm
全高	2,115 mm	2,545 mm	
全幅	1,901 mm	1,971 mm	
車両総質量	4,751 kg (本体+装置)	4,228 kg	4,663 kg
最大掘削深	1,219 mm	1,200 mm	660 mm
掘削幅	200 mm	200 mm	50 mm

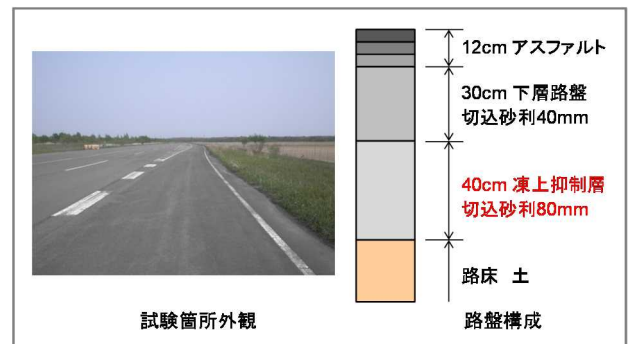


図-4.5 試験箇所外観および路盤構成



写真-4.2 アスファルト撤去および掘削試験状況

4.2.5 試験結果

1) 掘削速度

設定掘削深と掘削速度の関係を図-4.6 に示す。

掘削速度は、掘削深が深くなるにしたがい低下する傾向であること、また従来のバックホウによる施工よりも速いことを確認した。

機械ごとの速度を比較すると、掘削機械 B のホイール式が最も速く、次に掘削機械 B のチェーン式、掘削機械 A の順となった。なお、掘削機械 B のホイール式のみ掘削幅が 50mm であり、掘削幅を大きくすると掘削抵抗が大きくなり速度が低下する可能性がある。

また、掘削機械 A の掘削速度を地山での試験データと比較すると、掘削深 60cm では地山の約 2 倍である 100m/h 程度となったが、掘削深 80cm 付近では地山よりやや低い 40m/h 程度に落ち込み、掘削深 100cm では、掘削負荷のためトレンチャーが停止してしまい掘削不能となった。重機などにより踏み固められた地山とは異なり、道路路盤は転圧機械により路床までムラ無く締め固められているため、深くなるほど掘削負荷がより大きくなったと考えられる。

一方で、掘削機械 B のチェーン式は深さ 120cm まで掘削することが可能であり、掘削機械 A に比べより深くまで掘削できることがわかった。

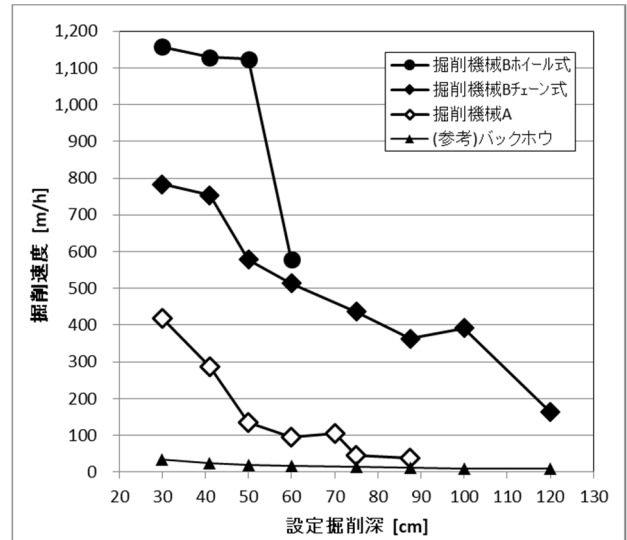
2) 掘削溝の深さ

トレンチャー掘削後、掘削溝の深さについて 5m おきに測定を行った。その結果、掘削溝の深さにはバラツキが見られ、大きいところでは、設定掘削深と比較し 15cm ほどの差が生じた。

ここで、測定値のバラツキの大きさを確認するため、標準偏差 (σ) を算出した。設定掘削深と標準偏差の関係を図-4.7 に示す。標準偏差は、掘削深が深くなるにしたがい大きくなる傾向にあり、掘削機械 B のチェーン式が比較的大きいことがわかった。

バラツキの原因の一つとして、掘削土や掘削溝側面から崩れた土砂が、溝内に落ち溜まってしまうこと(戻り)があげられる(写真-4.3)。

諸外国では戻りの対策として、戻り防止用のガイド



(※1) 掘削速度には、掘削開始から設定掘削深へ到達するまでの工程は含まない。

(※2) バックホウの掘削速度は「平成 30 年度土木工事標準積算基準書」¹³⁾、¹⁴⁾を元に試算。

図-4.6 設定掘削深と掘削速度の関係（道路路盤掘削）

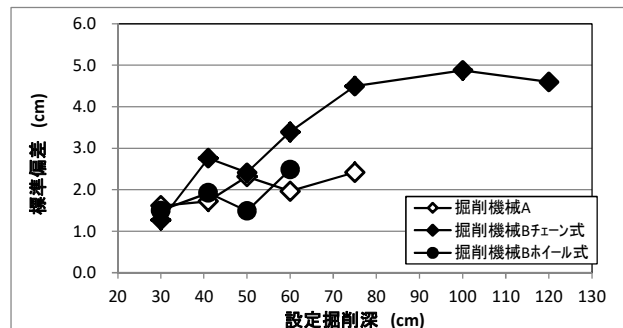


図-4.7 設定掘削深と標準偏差の関係



写真-4.3 戻りの状況

板の使用や、戻りを見込んで設定掘削深より 20cm 程度深く掘削するなどの対策がされており、日本でもこのような対策が必要になると考えられる。

また、試験で使用したトレンチャーには掘削深を設定、確認する機能が搭載されていなかった。そのため、事前に試掘を行って設定掘削深ごとの装置の傾斜角度を測り、試験では装置に取り付けた角度計を目視で確認し、掘削深の調整を行った。掘削深を設定する機能などがあれば、より容易に、また正確に掘削深を制御することが可能になると考えられる。

3) トレンチャーの運転操作

掘削機械 A は、バックしながらの掘削となるため、掘削ラインに沿わせた操作が非常に難しかった。

トレンチャーの運転操作にあたっては、使用する機械によって、バックモニターや掘削ラインのガイドなどの操作支援機能や、オペレータの育成が必要になると考えられる。

4. 3 トレンチャーによる掘削および埋戻し・締固め試験

一般的に埋め戻しに使用されるタンパ・ランマなどの転圧機械は、機械の全幅が 40cm 程度あり、トレンチャーによる掘削溝に入らず締固めができない。

諸外国ではコンクリートやモルタルによる埋め戻しが行われているが、施工場所を再度掘削する場合に支障となる可能性がある。

そこで、幅の狭い掘削溝を締固めできる施工方法の検討を行い、トレンチャーによる掘削から埋戻し・締固めまで一連の作業を想定した施工試験を道路路肩（未舗装部）において実施した。

4. 3. 1 施工条件および施工フロー案

試験条件の設定にあたり、トレンチャーが効果的に活用される条件を検討した。トレンチャーは、既設埋設物が多い場所では回避動作による掘削速度の低下が懸念されるため、既設埋設物が少ない郊外部などでの活用が効果的と考えられる。また、ケーブルは主に道路沿いに埋設されることから、ここでは郊外部の路肩における施工を想定し、使用機械の検討を行った。

郊外部の路肩における施工フロー案を表-4.6 に示す。郊外部では輸送距離が長くなることが考えられるため、輸送コストを考慮すると、トレンチャーの大きさはなるべく小型のものが望ましい。また、郊外部にも歩道が点在し、乗り上げが必要になる場合があるこ

とから、歩道への対応が可能となる条件を検討した。その結果、機械幅は道路構造令の歩道幅である 2m 以下¹⁶⁾ とし、車両に対する歩道の耐荷重の基準等が無いため、機械総質量は冬期に使用される歩道除雪車を参考に 7.5t 以下¹⁷⁾ とした。

4. 3. 2 使用機械および材料

試験に使用した機械の外観を図-4.8 に示す。

使用したトレンチャーは、道路路盤における試験で使用した掘削機械 B（専用機械）と同じ機械である。

埋戻しは、発生土および流動化処理土を埋戻し材料として使用した。発生土の埋戻しには、バックホウによる掘削に比べ土量が少ないことや掘削溝の幅が狭いことから、標準機械の規格（バックホウ山積 0.28m³）よりも小型の機械（バックホウ山積 0.08m³）を使用した。流動化処理土は、締固めが不要で、再掘削が可能な固さに配合できる材料である。その要求品質は、「流動化処理土利用技術マニュアル¹⁸⁾」より表-4.7 のとおりとした。

使用した締固め機械の諸元を表-4.8 に示す。締固め機械は、トレンチャー掘削による深く幅の狭い掘削溝を締固めできるものとし、タンパに加え、バックホウ用幅狭型振動コンパクタ（以下、「コンパクタ A」と

表-4.6 施工条件および施工フロー案

施工条件	施工箇所	郊外部、路肩（未舗装部）
	埋戻し材	発生土
施工フロー案	フロー ¹⁵⁾	使用機械
	床掘り	ケーブル埋設用トレンチャー (幅 2.0m 以下、7.5t 以下)
	ハンドホール設置	バックホウ(山積 0.45m ³ クレーン付)
	ケーブル敷設	—
	埋設シート敷設	—
	埋戻し	小型バックホウ(山積 0.08m ³)
	締固め	タンパ(トレンチ溝転圧用)
	土砂等運搬	ホイールローダ(山積 0.34m ³) ダンプトラック(2t 級)

※赤字は土木工事標準積算基準書¹⁵⁾と異なる規格

表-4.7 流動化処理土の要求品質

最大粒径	13mm 以下
フロー値	140mm 以上(打設時)
ブリーディング率	3%未満
処理土の湿潤密度	1.40 g/cm ³ 以上
(後日復旧)一軸圧縮強さ	(歩道下) 28 日後 200～600kN/m ²

いう)、トレンチャー用改良型振動コンパクタ(以下、「コンパクタ B」という)を使用した。タンパは、市販のトレンチシュー(溝用転圧盤)に高さ調整のために製作したスペーサーを取り付けた規格の異なる3機種を、掘削溝の幅や深さに応じて使用した。コンパクタ A は、汎用バックホウのアームに振動コンパクタアタッチメントを取り付けたもの、コンパクタ B は、遠隔操作が可能な小型トレンチャーのプラウ等装着用アタッチメントを、振動コンパクタに改造したものである。

4.3.3 試験方法

試験は、苫小牧寒地試験道路の路肩(未舗装部)にて実施した。

掘削深は、路盤掘削試験における設定値および使用したトレンチャーの最大掘削深を参考に、30cm、50cm、60cm、75cm、100cm および 120cm に設定した。掘削延長は 20m を基本とした。掘削幅は、トレンチャーの最大掘削幅および締固め機械の施工可能幅を考慮した幅とし、チェーン式は 150mm および 305mm、ホイール式は 150mm および 250mm とした。

埋戻し・締固めは、各層の仕上がり厚を30cm以下とし、層ごとに締固めを行った。試験条件を表-4.9に示す。締固め度の確認は、国土交通省「土木工事施工管理基準及び規格値」に規定される現場密度の測定を、砂置換法(JIS A 1214)により実施した。本試験における規格値は、路体の基準を適用し、最大乾燥密度の

90%以上(締固め試験(JIS A 1210))とした。測定は、試験条件③、⑥、⑧、⑩、⑮にて3回ずつ実施し、条件毎の平均値が規格値を満たすかどうかを確認した。

表-4.8 締固め機械の諸元

	タンパ			コンパクタ A	コンパクタ B
	A	B	C		
転圧盤幅 [mm]	100	114	200	305	150
トレンチシュー高さ [cm]	0	0, 34	34, 50, 80	-	-
ベースマシン	(40kg 級 タンパ1台)	(60kg 級 タンパ2台)	(70kg 級 タンパ3台)	超小旋回 バックホウ	遠隔操作型 トレンチャー

表-4.9 埋戻し・締固め試験条件

埋戻し				締固め				
埋戻し材料	使用機械	幅 [mm]	深さ [cm]	条件	使用機械	幅 [mm]	深さ [cm]	トレンチシュー高さ [cm]
発生材	小型バックホウ	305	30	①	コンパクタA	305	30	-
			50	②			50	-
			75	③			75	-
			120	④			120	-
		150	30	⑤	コンパクタB	150	30	-
			50	⑥			50	-
		250	30	⑦	タンパ A	150	30	0
			60	⑧			50	0
			30	⑨	タンパ B	150	30	0
			50	⑩			50	34
流動化処理土	ミキサー車	150	30	⑪	タンパ C	305	250	30
			50	⑫			250	60
				⑬			30	34
				⑭			50	34
				⑮			75	50, 34
				⑯			120	80, 34
				⑰				
				⑱				



図-4.8 使用機械の外観

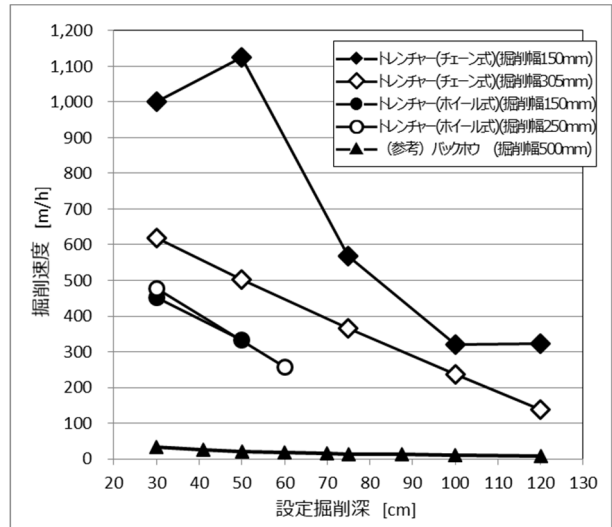
4.3.4 試験結果

1) 掘削

a) 掘削速度

設定掘削深と掘削速度の関係を図-4.9に示す。路盤における試験と同様に、掘削速度は、掘削深が深くなるに従い低下する傾向であること、従来のバックホウによる施工よりも大幅に速いことを確認した。また、トレンチャー（チェーン式、掘削幅 150mm）で相關にバラツキが生じているが、未舗装部で試験を実施したため、地面の不陸箇所での負荷の増大や施工性の低下が生じたことなどが、掘削速度に影響したと考えられる。

チェーン式、ホイール式とも幅の違うアタッチメントを2種類使用したが、チェーン式は、掘削幅が狭い方が掘削速度は大きくなり、ホイール式は、幅の違いによる掘削速度の大きな違いは見られなかった。



(※1) 掘削速度には、掘削開始から設定掘削深へ到達するまでの工程は含まない。
(※2) バックホウの掘削速度は「平成30年度土木工事標準積算基準書」¹⁴⁾、¹⁵⁾を元に試算。

図-4.9 設定掘削深と掘削速度の関係（路肩掘削）

b) 掘削溝の深さ

掘削溝の深さは掘削延長 10m 間隔で測定した。測定値にはバラツキが見られ、設定掘削深に対し、最大で 30%、平均で 8%程度の差があった。掘削土や掘削溝側面から崩れた土砂が溝内に溜まってしまいうほか、不陸箇所特に掘削深さのバラツキが大きくなった。

2) 埋戻し

a) 発生土による埋戻し

トレンチャー掘削後、発生土は掘削溝の両側に堆積した状態であり、埋戻しはバックホウで発生土の山を崩す方法で行った。そのため、埋戻し時には、草や石などの発生土以外のものが混入しないよう注意を要することで、施工速度の低下を招いていた。

b) 流動化処理土による埋戻し

流動化処理土の施工速度を表-4.10に示す。平成29年度は、樋から掘削溝側面に流動化処理土を当てるように流し入れたが（写真-4.4左）、平成30年度はホースを取り付け、掘削溝方向に流し入れる方法に変更した（写真-4.4右）。これにより、こぼれや跳ねが軽減し、流動性をいかにせる打設が可能となり、施工性が向上した。ただし、流動化処理土は時間経過により流動性が変化するため、施工速度には流動性の違いも影響したと考えられる。

このように流動化処理土は、現場条件に合った施工方法を検討することが必要なほか、製造から打設までの時間に制約があること、管路の埋戻しの場合は、管に浮力が働くことへの対策にも留意が必要である。

表-4.10 流動化処理土の施工速度

幅 [mm]	深さ [cm]	施工速度 [m/h]	
		樋(H29)	ホース(H30)
150	30	77	255
	50	105	197※

※H30の深さ50cmの条件は、溝に電線管(FEP100)を敷設し流動化処理土を打設。



写真-4.4 流動化処理土の施工状況
(左:樋を使用 (H29)、右:ホースを使用 (H30))

3) 締固め

a) 締固め度

締固め度の結果を表-4.11に示す。いずれの施工方法も最大乾燥密度の90%以上となり、規格値を満たす結果となった。機械毎の締固め度を比較すると、タンパ（3機種の平均値 101.0%）が最も締固め度が高く、次にコンパクタ A、コンパクタ B の順となった。

b) 締固め速度

設定掘削深と締固め速度の関係を図-4.10 に示す。締固め速度を比較すると、一部を除き、コンパクタ A が最も速く、タンパ、コンパクタ B の順となった。

コンパクタ A には施工性向上のためスイベルを取り付け、掘削溝の形状に追従し任意の角度に旋回する構造としたが、全層埋戻し後の溝が無い状態では、方向が不安定となり、締固め速度が劣る結果となった。また、掘削溝が深い場合、側方からの施工では狭い溝にアームが入らず、さらに、掘削溝の両側に堆積する発生土の量が多いため、掘削溝を跨いで施工ができず、作業範囲が限定的となった。しかし、搭乗作業が可能であることから、これらの課題に対応できれば長距離の施工に適していると考えられる。

タンパによる施工は、掘削深さ 120cm の条件では、掘削溝両側の発生土が多くなり足場が悪かったことや、長いトレンチシューが必要となりタンパのバランスが悪くなったことから、作業補助者を 1 名追加した。そのため、設定掘削深が 75cm よりも 120cm の条件の方が速い結果となった。また、掘削溝が深い条件では作業者の疲労が大きく、長距離の施工は困難と考えられる。

コンパクタ B は、他機種に比べ施工速度は遅かったが、掘削溝を目視しながらリモコンで操作が可能であり、人員の負担も少ないため、作業形態としては長距離の施工に適していると考えられる。

c) コンパクタ A の改良

掘削溝が深い場合でも、コンパクタ A による側方からの施工を可能とするため、試験後にスペーサーを製作し、コンパクタ A に取り付けた。また、全層埋戻し後の溝が無い状態での締固め時に、コンパクタの方向を固定できるようスイベルにピンを取り付ける改良を行った。

この改良型コンパクタ A にて締固めを行ったところ、深い溝でも側方からの施工が可能となり、また溝がなくても安定した施工が可能となった（写真-4.5）。

締固め度の確認のため、幅 305mm、深さ 30cm、延長 20m の掘削溝の締固めを行ったところ、締固め度は、最大乾燥密度の 99.9% となり、規格値を満たした。また、締固め速度は 124m/h となり、溝の無い状態での締固め速度が向上した。

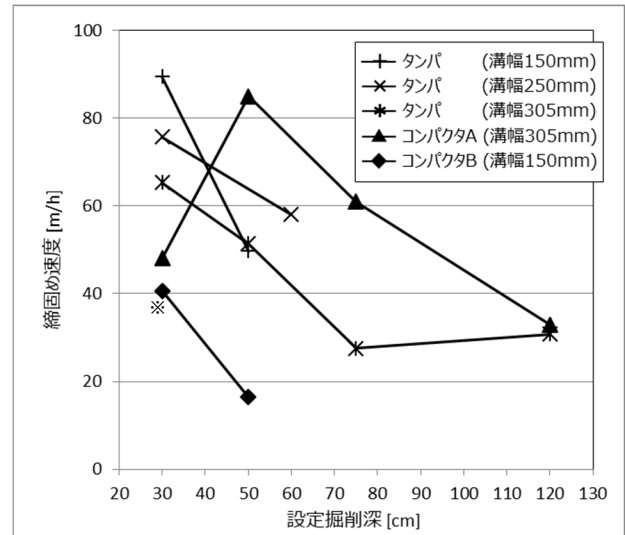
4) 埋戻し・締固めにおける課題

a) 掘削以外の施工速度および施工性の向上

トレンチャーの掘削速度に対し、埋戻し・締固め速

表-4.11 現場密度測定結果（砂置換法）

試験条件	⑧	⑩	⑮	③	⑥
締固め機械	タンパ A	タンパ B	タンパ C	コンパクタ A	コンパクタ B
締固め度[%]	104.4	93.9	104.6	99.8	92.5



※コンパクタ B 設定掘削深 30cm の値は参考値

図-4.10 設定掘削深と締固め速度の関係



写真-4.5 コンパクタ A (スペーサー取付)

度は 4 分の 1 以下であった。通常の電線類の地中埋設工事で行われているように日々復旧することを考慮し、トレンチャー掘削の日施工量を制限した場合、施工費はバックホウによる標準工法よりも高額となることが想定される。このことから、埋戻し・締固め施工速度の向上が求められる。

一方、日々復旧や出来形管理の不要な箇所においては速度差が問題とならないため、まずこのような条件の現場でトレンチャーが活用されることが期待される。

b) 発生土の積み込み作業の効率化

トレンチャー掘削後、掘削溝の両側に掘削土が堆積

した状態となる。その堆積量は、掘削幅 305mm、掘削深さ 120cm の条件において、最大で高さが 47cm、幅が 119cm（片側）であった。特に掘削深が大きく発生土が多い場合に埋戻しや締固め作業の支障になるため（写真-4.6）、発生土の効率的な搬出方法の検討を行うことは、全体の施工速度の向上に寄与するものと考ええる。また、掘削と同時に土砂運搬車両へ発生土の積み込みが可能な機能を有するトレンチャーも存在することから、このような機械の効果も期待される。



写真-4.6 掘削土の堆積状況

4. 4 ケーブル埋設用掘削機械調査および施工試験結果のまとめ

低コスト・高効率の電線類地中化技術を検討する基礎資料とするため、電線類地中化におけるケーブル埋設用掘削機械について海外の施工機械メーカーを対象に調査を行い、また、国内でレンタル可能な機種を用いた掘削および埋戻し・締固め試験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・調査結果から、ケーブル埋設用機械としては主にトレンチャーが使用されており、海外の施工事例において、施工条件による差があるものの、施工速度が非常に速いことがわかった。
- ・地山の掘削試験結果から、小形のアタッチメント式のトレンチャーでも締め固まった地盤の掘削が可能なことを確認した。
- ・道路路盤の掘削試験から、トレンチャーの掘削速度は従来工法に比べて速く、機種や掘削深により違いがあること、掘削後の溝の深さにはバラツキが生じることがわかった。
- ・トレンチャー掘削による幅の狭い掘削溝は、既存の締固め機械の改良により締固め可能となることを確認した。
- ・トレンチャーの掘削速度に対し、埋戻し・締固め速度は4分の1以下であり、掘削以外の施工速度の向上

が求められることがわかった。

今後は、トレンチャーの掘削速度を活かすため、締固め等の施工速度の向上や、発生土の効率的な搬出方法など、トレンチャーを活用した効率的な電線類地中化技術について、検討を進めていくことが必要である。

5. まとめ

本研究では、主に以下の成果を得た。

1) 無電柱化による効果的・効率的な景観対策の選定技術

電線電柱類が景観に与える影響度合いを把握するため被験者実験を行い、電線類の地中化の効果が高いことと地中化以外の対策工法でも沿道環境によっては比較的高い効果が得られることを確認した。

また、無電柱化事業の事例収集を行い分析することで、景観に着目した無電柱化事業による波及効果と事業優先度の関係性を示した。

上記成果をもとに、これまでの無電柱化研究の知見（基礎知識、工法と整備手法の種別、特徴・効果など）も加え、技術資料としてとりまとめた。

2) 凍上地域における埋設設計技術

寒冷地における「凍結」の影響と埋設基準類の運用状況の調査や関係者ヒアリングにより、電線共同溝管路内部の滞留水の状況や実際の凍結障害事例を明らかにした。

また、上記調査結果を踏まえ、屋内や屋外での光ケーブル管路滞留水の凍結実験を行い通信障害の有無や滞留水の凍結メカニズムを解明し、実道での実用化に向けた検証等を行い、継続してデータを蓄積している。

なお、この結果は2019年度末での計測結果をもって、寒冷地での浅層埋設手法として技術マニュアルに反映されることとなっている。

3) 郊外部における効率的な施工技術

低コスト・高効率の電線類地中化技術を検討する基礎資料とするため、ケーブル埋設用掘削機械について海外の施工機械メーカーを対象に調査を行い、主にトレンチャーが使用され国内と比較して大幅に短時間での施工が可能となっていることを確認した。

また、トレンチャーの特性を把握するため、寒地試験道路で国内での採用に向けた試験を行い、機械の特徴と優位性、現場施工における課題を明らかにした。

6. おわりに

本研究の成果は、今後、無電柱化事業の計画立案や設計・施工計画において、道路管理者や自治体及び設計コンサルタントなどに活用されることを期待する。

今後は、無電柱化に対する社会ニーズの増大や社会状況の変化が早いことも踏まえ、行政や電線管理者、無電柱化NPOなどと密に情報交換・連携を行い、低コスト化に向けた動向、更には、新たな手法の動向を注視しつつ、引き続き無電柱化に関する研究や技術開発を進めていきたい。

補注¹⁹⁾

※1 SD法 (Semantic Differential Method)

評価対象に人々がどのようなイメージを持っているのかを、形容詞対の評価言語を用いて測定する手法であり、景観分野でも広く用いられている。

※2 ME法 (Magnitude Estimation Method)

景観の分野では、例えば高架橋の圧迫感に対する評価値を測定するなど、主に構造物の物理量の変化とそこから受ける心理量の関係を分析するために用いられる。

参考文献

- 1) 岩田圭佑、松田泰明、兵庫利勇、郊外部の電線電柱類の景観対策における課題と効果的な対策手法に関する一考察、寒地土木研究所月報 No.727、pp. 44-49、2013
- 2) 国土交通省道路局：「道路の無電柱化 低コスト手法導入の手引き」、2019年3月
- 3) 小栗ひとみ、阿部貴弘、松江正彦、曾根直幸、栗原正夫、「まちづくり効果」を高める公共事業の進め方(案)～公共事業における景観配慮の事例に学ぶ～、国土技術政策総合研究所資料第808号、2014.9
- 4) 笠間聡、松田泰明、良好な景観が地域にもたらす効果とその評価の考え方について、第57回北海道開発技術研究発表会、2014.2
- 5) 国土交通省道路局通達：電線等の埋設物に関する設置基準の緩和について、2016.2
- 6) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領 第2集道路付帯施設参考資料、
- 7) 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4.1版、2018.3
- 8) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領 第5集電気通信施設第3省電線路、
- 9) CC-Link 協会：CC-Link IE コントローラネットワーク敷設マニュアル、
<https://www.cc-link.org/ja/material/documents/cc080912a.pdf> (2018年4月4日確認)
- 10) RIVARD 社ウェブページ：<http://www.rivard-international.com/en/produits/riv1254tr103a-2>
- 11) Vermeer 社ウェブページ：<https://www.vermeer.com/NA/en/N/equipment/plows>
- 12) Caterpillar 社ウェブページ：https://www.cat.com/en_US/products/new/attachments/trenchers.html
- 13) 国土交通省：平成30年度土木工事標準積算基準書(共通編)、I-12-①-1、2018
- 14) 北海道開発局：平成30年度版建設機械等損料算定表北海道補正版、p.57、2018
- 15) 国土交通省：平成30年度土木工事標準積算基準書、II-1-②-12-18、II-1-③-2-10、II-2-⑩-21、VIII-2-1、2018
- 16) 公益社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用、P232、2015
- 17) 一般社団法人日本建設機械施工協会：除雪機械技術ハンドブック、P9・7、2007
- 18) 独立行政法人土木研究所・株式会社流動化処理工法総合監理：流動化処理土利用技術マニュアル《平成19年/第2版》、2007
- 19) 篠原修編：景観用語辞典 増補改訂版、彰国社、2007

A Study on Selecting Effective Landscape Improvement Methods of Utility Lines / Poles and Underground Cable Construction

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2015-2018

Research Team : Scenic Landscape Research Unit

Machinery Technology Research Team

Author : KASAI Satoshi

MATSUDA Yasuaki

TAKAHASHI Tetsuo

OGATA Satoshi

IWATA Keisuke

KATANO Koji

MAKINO Masatoshi

SAWAGUCHI Shigeo

KOBAYASHI Yuichi

OTAKE Madoka

Abstract : Power and telecommunication lines and poles have a particularly adverse influence in natural and pastoral areas, where the roadscape are open. In our past research, several methods to improve such landscapes were suggested. Landscape evaluation methods are required to select effective locations and improvement methods. Moreover, standards will be revised for laying ducts and cables at shallow depth in terms of cost reductions and efficient constructions. However, ducts and cables are generally laid at depth bigger than frost penetration depth in cold region such as Hokkaido. Therefore, for cold region, developments of specifications are necessary to make it possible to lay ducts and cables at depth smaller than the frost penetration depth. And it is also needed to efficient laying at deeper than it using trenching machines for completing construction works in much shorter period than in Japan. In this study, the following techniques are suggested: 1) techniques for selecting efficient, effective landscape improvement methods that involve utility line undergrounding, 2) design techniques for laying cables underground in cold regions and 3) efficient construction techniques for suburban areas. These results are summarized in the form of technical documents.

Key words : Power and telecommunication lines and poles, landscape, underground cable laying, laying ducts and cables at shallow depth, trenching machines