

# 無電柱化に向けた ケーブル埋設用掘削機械を用いた施工試験

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 ○大竹 まどか  
澤口 重夫  
小林 勇一

郊外部も含めた無電柱化推進のためには、埋設手法の低コスト化や施工性の向上が求められる。一方無電柱化が進んでいる諸外国では、ケーブル埋設用掘削機械を使用し、日本と比較して大幅に短時間で施工している事例がある。そこで、低コスト・高効率の埋設技術検討のため、海外で使用されているケーブル埋設用掘削機械を用い、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行ったので報告する。

キーワード：無電柱化、ケーブル埋設、施工機械

## 1. はじめに

近年、防災、景観・観光、安全・快適の観点から無電柱化が推進されている。しかし、電線共同溝事業に代表される電線類の地中化事業は、高額な整備コストなどを理由に中心市街地や都市部の幹線道路を中心として限定的に進められており、日本における無電柱化は諸外国と比べて大きく遅れている（図-1）。一方、郊外の美しい沿道景観を有する農村自然域においては、無電柱化により市街地以上に大きな景観改善効果が得られ、景観をいかした観光振興面からも無電柱化のニーズは高い<sup>2)</sup>。今後、これまで無電柱化の対象となりにくかった郊外部においても無電柱化が推進されることが期待され、郊外部

も含めた無電柱化推進のためには、埋設手法の低コスト化や施工性の向上が求められている。

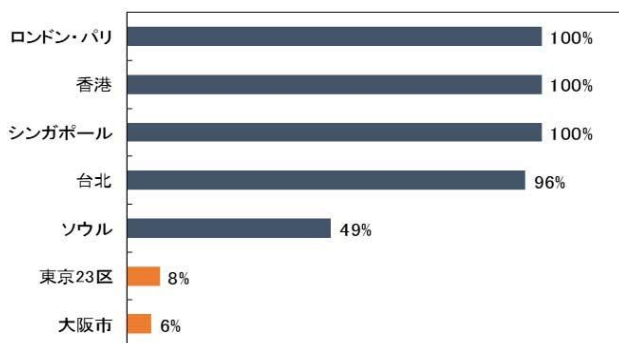
無電柱化が進んでいる諸外国では、ケーブル埋設用掘削機械（以下、「トレンチャー」という。）を使用し、日本の主工法であるバックホウによる掘削と比較し、大幅に短時間で施工している事例がある<sup>3)</sup>。

そこで、郊外部における低コスト・高効率の電線類地中化技術検討のための基礎的研究として、海外で使用されているトレンチャーを用いた掘削から埋戻し・締固めまで一連の作業を想定した施工試験を行ったので報告する。

## 2. トレンチャーを用いた施工試験

日本では道路敷地内のような締め固まった箇所でもトレンチャーを使用した事例を確認できなかったため、小林ら<sup>3)</sup>は、トレンチャーの道路路盤に対する掘削能力を確認するための掘削試験を実施した。試験の結果、道路路盤の掘削においても、トレンチャーの掘削速度は従来のバックホウによる施工に比べて大幅に速く、電線類地中化における大幅な施工速度の向上が期待できることを確認した。しかし、一般的に埋戻しに使用される締固め機械では、トレンチャーの幅の狭い掘削溝を締固めることができず、狭い掘削溝を効率的に締固め可能な施工方法を検討する必要があることを報告している。

そこで、幅の狭い掘削溝の締固め方法の検討を行い、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体（未舗装部）において行った。



※1 ロンドン、パリは海外電力調査会調べによる2004年の状況（ケーブル延長ベース）  
 ※2 香港は国際電線協会調べによる2004年の状況（ケーブル延長ベース）  
 ※3 シンガポールは『POWER QUALITY INITIATIVES IN SINGAPORE, CIRE2001, Singapore, 2001』による2001年の状況（ケーブル延長ベース）  
 ※4 台北は台北市道路管線情報センター資料による台北市区の2015年の状況（ケーブル延長ベース）  
 ※5 ソウルは韓国電力統計2017による2017年の状況（ケーブル延長ベース）  
 ※6 日本は国土交通省調べによる2017年度末の状況（管線延長ベース）

図-1 海外と日本の無電柱化率の比較<sup>1)</sup>

**(1) 使用機械及び材料**

試験フロー及び使用した機械の外観及び諸元を図-2及び表-1、表-2に示す。これらは、土木工事標準積算基準書（国土交通省）をもとに、従来のバックホウによる掘削をトレンチャー掘削に変更した場合として検討したものであり、歩道上または路側の作業を想定し、トレンチャーやその他使用機械ともに小型の機械を使用した。

トレンチャーの機械構成は、専用機械と、汎用機械に装着して使用するアタッチメント式に分けられる<sup>3)</sup>。本試験で使用したトレンチャーは、日本国内でレンタル可能であった専用機械であり、この機種は、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ある。

埋戻しは、発生土及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0.28m<sup>3</sup>）よりも小型の機械（バックホウ山積0.08m<sup>3</sup>）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<sup>4)</sup>」より表-3のとおりとした。

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転圧できるものとし、タンパ、バックホウ用幅狭型振動コンパクト（以下、「コンパクトA」という。）、トレンチャー用改良型振動コンパクト（以下、「コンパクトB」という。）を使用した。タンパは、トレンチャー（溝用転圧盤）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。コンパクトAは、汎用バックホウのアームに振動コンパクトA

タッチメントを取り付けたもの、コンパクトBは、遠隔操作が可能な小型トレンチャーのプラウ等を装着しているアタッチメント部分を、振動コンパクトに改造したものである。

**表-1 掘削機械の諸元**

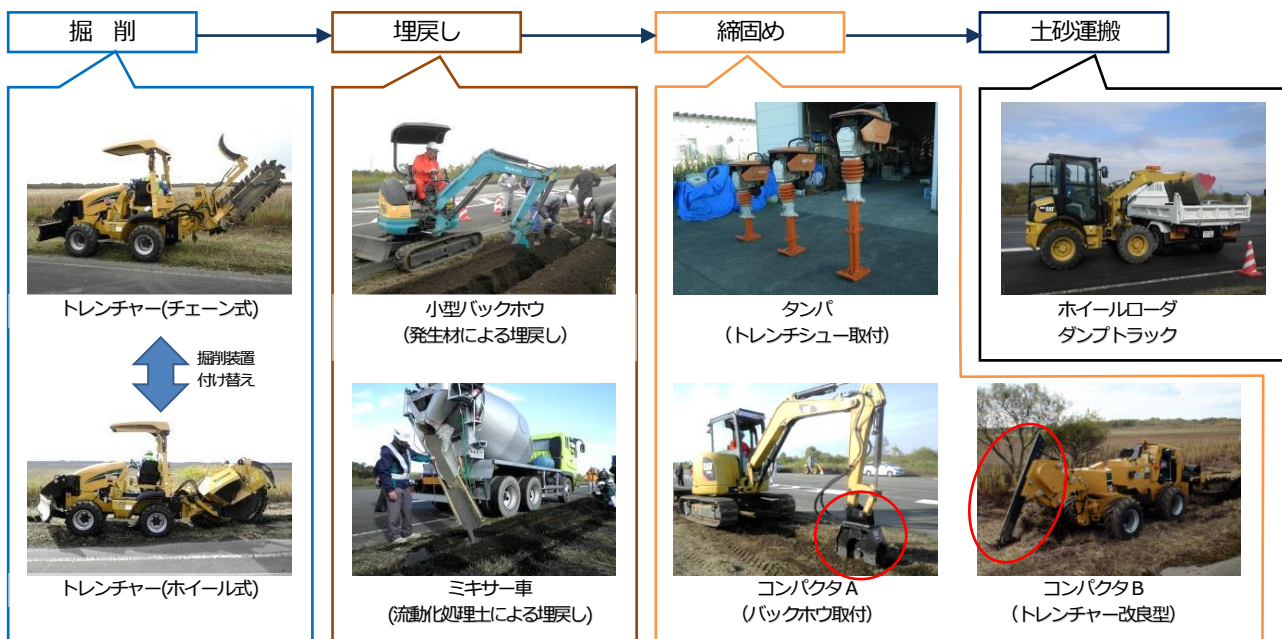
使用機械	電線埋設用掘削機械（トレンチャー）	
機械構成	専用機械	
掘削機構	チェーン式	ホイール式
最大掘削深	1,200mm	600mm
掘削幅	150mm, 305mm	150mm, 250mm

**表-2 締固め機械の諸元**

	タンパ			コンパクトA	コンパクトB
	A	B	C		
転圧盤幅[mm]	100	114	200	305	150
トレンチャー高さ[mm]	0	0,340	340, 500, 800	-	-
ベースマシン	(40kg級 タバ1台)	(60kg級 タバ2台)	(70kg級 タバ3台)	超小旋回 バックホウ	遠隔操作型 トレンチャー

**表-3 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 <sup>3</sup> 以上
(後日復旧)軸圧縮強さ	(歩道下)28日後200~600kN/m <sup>2</sup>



**図-2 試験フロー及び使用機械の外観**

## (2) 試験方法

試験は、苫小牧市にある苫小牧寒地試験道路の路体（未舗装部）にて実施した。試験区間の土質材料試験の結果を表-4に、試験条件を表-5に示す。

掘削深さは、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及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及び120cmに設定し、掘削延長は20mとした。

埋戻し・締固めは、一層の仕上がり厚を30cm以下とし、層ごとに締固めを行った。締固め度の確認は、国土交通省「土工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 試験区間の土質材料試験結果（H29）

土質材料試験結果			
土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水比(%)	最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最適含水比(%)
2.615	38.7	1.302	34.4

地山密度(3点平均)		
湿潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	含水比(%)	乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )
1.606	40.0	1.147

表-5 試験条件

掘削 (H29、H30実施)				締固め (H29実施)				
使用機械	幅 [mm]	深さ [mm]	年度	条件	使用機械	幅 [mm]	深さ [mm]	トレンチャー高さ [mm]
トレンチャーチェーン式	305	300	H29/30	①	コンパクタA	305	300	-
		500	H29/30	②			500	-
		750	H29	③			750	-
		1,000	H30	④			1,200	-
		1,200	H29/30	⑤	コンパクタB	150	300	-
	300	H30	⑥	500			-	
	150	500	H30	⑦	タンパ A	150	300	0
		750	H30	⑧			500	0
		1,000	H30	⑨	タンパ B	150	300	0
		1,200	H30	⑩			500	340
250		H29	⑪	250			300	0
トレンチャーホイール式	250	300	H29	⑫	タンパ C	250	600	500
		600	H29	⑬			300	340
	150	300	H29	⑭			500	340
		750	H29	⑮			750	500, 340
		500	H29	⑯			1,200	800, 340
		⑰						

埋戻し (H29実施)											
埋戻し材料	使用機械	幅 [mm]	深さ [mm]	埋戻し材料	使用機械	幅 [mm]	深さ [mm]	埋戻し材料	使用機械	幅 [mm]	深さ [mm]
発生材	小型バックホウ	305	300	発生材	小型バックホウ	150	300	流動化処理土	ミキサー車	150	300
			500				500				
			750			250	300				
			1,200				600				

## 3. 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-3に示す。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、掘削深が深くなっても、掘削速度が低下しない場合もあった。これは、本試験は未舗装部で実施したため、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トレンチングアタッチメントを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。

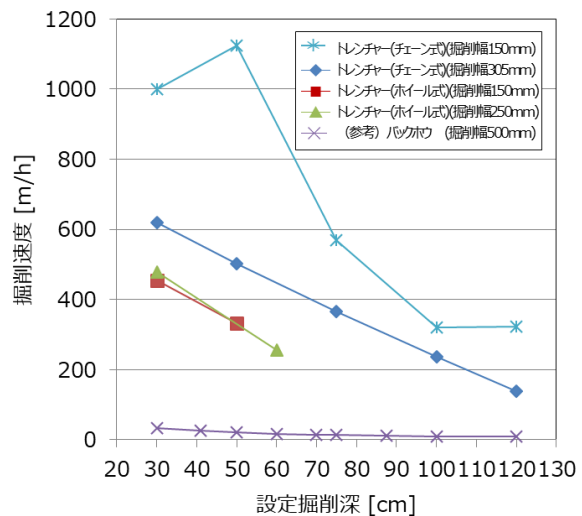
#### b) 掘削溝の深さ

掘削溝の深さは10m毎に測定した。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。不陸箇所特に掘削深さのバラツキが大きくなったほか、掘削土や掘削溝側面から崩れた土砂が、溝内に落ち底に溜まってしまってもバラツキの原因となっていた。

### (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積み上げられた状態であり、埋戻しはバックホウで発生土の山を崩す方法で行った。表層の埋戻しにおいては、草や石など発生土以外のものが混入しないように注意を要したため、下層1層当たりの埋戻し速度の平均値が18m<sup>3</sup>/hだった。



(※1) 掘削開始から設定掘削深へ到達するまでの速度は含まない。  
 (※2) バックホウの掘削速度は「平成30年度土木工事標準算定基準書」<sup>3)</sup>を元に試算。

図-3 設定掘削深と掘削速度の関係



たのに対し、表層の平均値は7m<sup>3</sup>/hであり下層の約40%の施工速度であった。

### b) 流動化処理土による埋戻し

流動化処理土の施工速度は、掘削溝の深さ30cmの条件が77m/h、50cmの条件が105m/hとなり、深い条件の方が速い結果となった。30cmの後に50cmの条件で作業を行ったため、慣れの影響も考えられるが、掘削溝からの跳ねを抑えるため30cmの条件では打設速度を抑えたことが大きく影響した。流動化処理土を流し込む量や方向など現場条件に合った作業方法を検討することで、より施工速度の向上を図ることができると考えられる。しかし、流動化処理土は、作成から打設までの時間に制約があること、打設中にも流動化処理土の性状が変化すること等に留意が必要である。

## (3) 締固め

### a) 締固め度

締固め度の結果を表-6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機種種の平均値101.0%）が最も締固め度が高く、次にコンパクトA、コンパクト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に示す。締固め速度を比較すると、表層を除き、コンパクトAが最も速く、タンパ、コンパクトBの順となった。

表-6 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	コンパクトA	コンパクトB
締固め度	104.4%	93.9%	104.6%	99.8%	92.5%

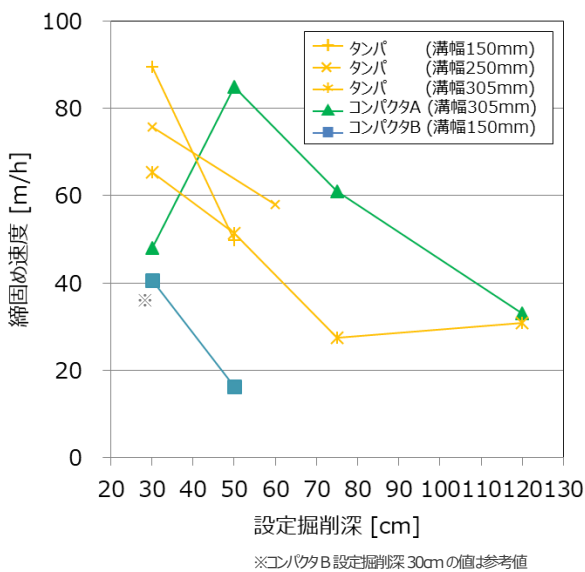


図-4 設定掘削深と締固め速度の関係

コンパクトAは、バックホウのアームの先端に取り付けられたコンパクト本体が掘削溝に合わせて自然に動く構造であり、地表面では方向が固定されず締固めが困難であったため、表層の締固め速度が低下した。また、掘削溝が深い場合、掘削溝沿いに積み上げられる発生土の量が多いため、掘削溝を跨いで機械が進入することができず、アームが届く位置までしか施工することができなかった。しかし、座って運転操作ができることから、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、掘削溝沿い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。

コンパクト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。

## (4) 今後の課題

今回の試験から得られた、トレンチャー施工を行う上での課題を以下に示す。

### 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・締固め速度は4分の1以下であった。トレンチャーの施工速度をいかに速くするためには、埋戻し・締固め速度の向上が必要である。

また、深い掘削溝の締固め時は、コンパクトAは発生土が支障となり施工範囲が限られること、タンパは作業者の負担が大きいため長距離の施工が困難と考えられる。トレンチャーは長距離を速く施工できることが特徴であり、締固めも長距離の施工が可能となるよう検討が必要である。そこで、試験的にスパーサーを製作してコンパクトAに取り付け、締固めを行ったところ、深い掘削溝でも作業が可能であった（図-5）。今回は締固め度と施工速度の関係は確認できなかったため、今後検証を行う予定である。



図-5 コンパクトA（スパーサー取付）

#### 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積み上げられた状態であり、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っていた。そのため、発生土の効率的な積み込み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られる。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構を有するトレンチャーも存在することから、このような機械の導入も期待される。

#### 4. 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、トレンチャーを用いた掘削から埋戻し、締固めまで一連の作業を想定した施工試験を実施した。試験結果から、トレンチャー掘削による幅の狭い掘削溝も締固め可能であることを確認した。また、トレンチャーによる掘削速度をいかにするためには、締固め等の施工速度の向上が必要であることを確認した。

今後は、今回の試験結果をもとに、埋戻し・締固め速度の向上や発生土運搬作業の効率化に向けた検討、及びトレンチャーを用いた場合の施工費の試算を行うなど、トレンチャーを活用した効率的な電線類埋設技術について、検討を進めていく。

#### 5. 参考文献

- 1) 国土交通省ウェブページ：無電柱化の整備状況、[http://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/chi\\_13\\_01.html](http://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/chi_13_01.html) (2019年1月4日確認)
- 2) 岩田圭佑・松田泰明・高橋哲生：観光振興に向けた農村自然域の無電柱化による景観向上効果の考察、第57回土木計画学研究発表会・講演集、01-12、2018.6
- 3) 小林勇一・田所登：海外の無電柱化で使用されている建設機械=ケーブル埋設用掘削機械の実態調査と掘削試験=、建設機械、第53巻第8号（通巻630号）、pp.53～60、2017.8
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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