

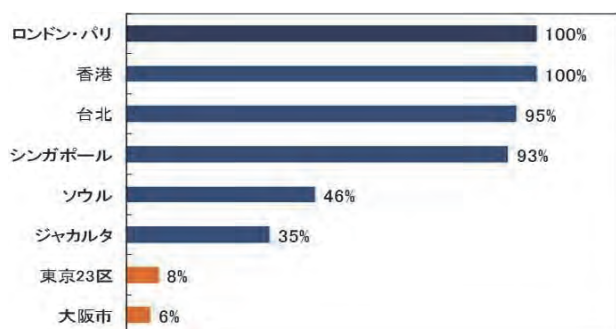
2. 無電柱化のための電線類埋設用掘削機械を用いた 施工試験について

(国研)土木研究所寒地土木研究所○ 大竹まどか
(国研)土木研究所寒地土木研究所 小林 勇一
(国研)土木研究所寒地土木研究所 澤口 重夫

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²⁾。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。

一方、無電柱化が進んでいる諸外国では、電線類埋設用掘削機械(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。



- ※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 香港は国際建設技術協会調べによる2004年の状況(ケーブル延長ベース)
- ※3 台北は国土交通省調べによる2013年の状況(道路延長ベース)
- ※4 シンガポールは海外電気事業統計による1998年の状況(ケーブル延長ベース)
- ※5 ソウルは国土交通省調べによる2011年の状況(ケーブル延長ベース)
- ※6 ジャカルタは国土交通省調べによる2014年の状況(道路延長ベース)
- ※7 日本は国土交通省調べによる2016年度末の状況(道路延長ベース)

図-1 海外と日本の無電柱化率の比較¹⁾

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は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³⁾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、一般的に埋め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掘削復旧施工試験を道路路体(未舗装部)において行った。

2.1 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ものを使用した。

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³⁾。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 0.28m³）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⁴⁾」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、トレンチシュー（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ア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。

2.2 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 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

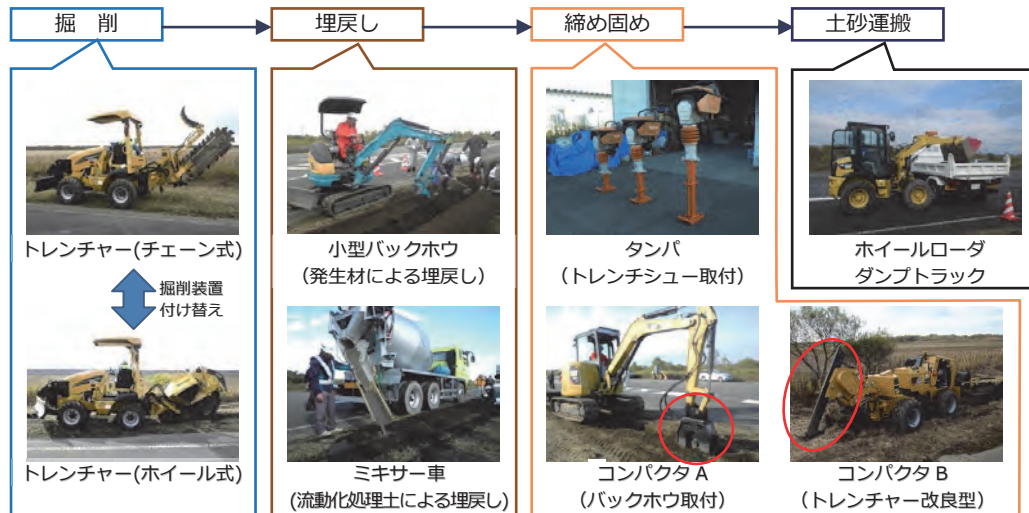


図-2 試験フロー及び使用機械の外観

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	305mm	150mm, 250mm

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 ³ 以上
(後日復旧)一軸圧縮強さ	(歩道下)28 日後 200~600kN/m ²

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
トレンチシュー高さ [mm]	0	0, 340	340, 500, 800	-	-
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 試験区間の土質材料試験結果

地盤材料試験結果			
土粒子の密度 (g/cm ³)	含水比(%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)	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 ³)	含水比(%)	乾燥密度 (g/cm ³)	
1.606	40.0	1.147	

表-5 試験条件

試験条件	掘削			埋戻し 材料	使用 機械	締固め		土砂運搬 使用 機械
	幅 [mm]	深さ [mm]	延長 [m]			使用 機械	トンショウ 高さ[mm]	
①	トレンチャー チェーン式	305	300	発生材	小型 バックホウ	コンパクトA	-	-
②						タンパC	340	-
③		タンパB	0			-		
④		305	500			コンパクトA	-	-
⑤						タンパC	340	-
⑥		タンパB	0			-		
⑦		305	750			コンパクトA	-	-
⑧						タンパC	500, 340	-
⑨	トレンチャー ホイール式	150	300	発生材	小型 バックホウ	コンパクトA	-	-
⑩						タンパA	0	-
⑪		タンパB	0			-		
⑫		コンパクトB	-			-		
⑬		150	500			タンパA	0	-
⑭						タンパB	340	-
⑮		コンパクトB	-			-		
⑯		流動化 処理土	ミキサー 車			-	-	ホイールローダ ダンプトラック
⑰	250	300	20	発生材	小型 バックホウ	タンパB	0	-
⑱	250	600	20			タンパC	500	-
						タンパB	0	-

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⑤、⑥、⑫、⑬、⑭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。

3. 試験結果

3.1 結果

(1) 掘削

① 掘削速度

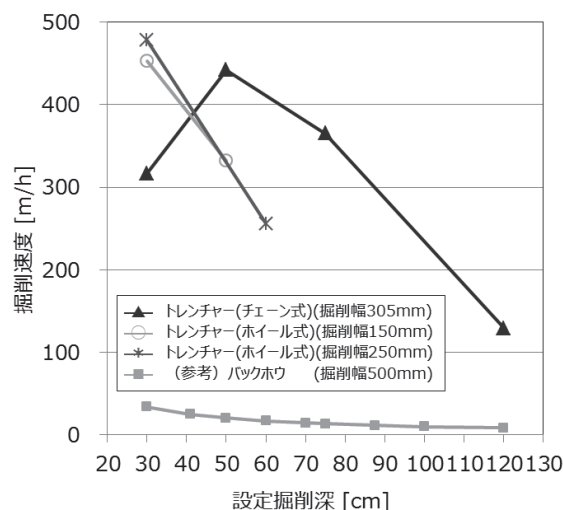
設定掘削深と掘削速度の関係を、図-3に示す。掘削速度は、掘削深が深くなるに従い低下する傾向であること、また従来のバックホウによる施工よりも大幅に速いことを確認した。

チェーン式では設定掘削深30cmよりも50cmの方が速い結果となったが、これは試験開始直後に設定掘削深30cmの測定を行ったため、オペレーターがトレンチャーの操作に慣れていなかったことが影響したと考えられる。

また、ホイール式は幅の違うトレンチングアタッチメント2種類で掘削を行ったが、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。

② 掘削溝の深さ

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最大で15cmほどの差が生じた。本試験は未舗装部で実施したため、



(※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年度土木工事標準積算基準書」^{⑧⑨}を元に試算。

図-3 設定掘削深と掘削速度の関係

地面の不陸箇所特に掘削深さのバラツキが大きくなった。また、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うこともバラツキの原因となっていた。

(2) 埋戻し

① 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、埋め戻しはバックホウで発生土の山を崩す方法で行った。表層の埋め戻しにおいては、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18m³/hだったのに対し、表層の平均値は7m³/hと約40%の施工速度であった。

② 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

① 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)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。

② 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タ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土量が多いため、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。

表-6 現場密度測定結果（砂置換法）

試験条件	⑫	⑬	⑥	⑤	⑭
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%

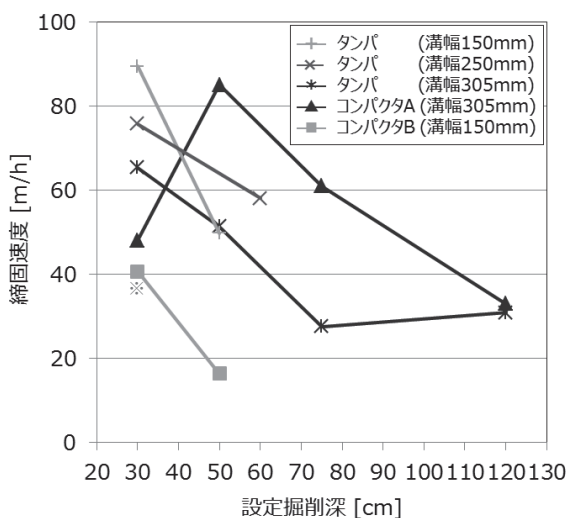


図-4 設定掘削深と締固め速度の関係

3.2 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。

(1) 掘削以外の施工速度の向上

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するためには、埋戻し・締固め速度の向上が必要である。

(2) 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。

参考文献

- 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（2018年8月31日確認）
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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