

26. 地中探査結果を搭載したICT建設機械の活用による地下埋設物の保護

(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 ○ 八木橋 宏和
 コベルコ建機 株式会社 関口 伸吾
 ジョ・サーチ 株式会社 神代 晃治

1. はじめに

国土交通省が推進する i-Construction の取り組みの内、ICT の全面的な活用 (ICT 活用工事) では 3 次元設計データを施工現場へ利用し、正確な施工数量の把握や、ICT 建設機械に搭載される電子丁張としての活用など、従来施工より効率の良い施工が行われている。しかし、ICT による効率化の事例は少なく、市街地での維持管理による掘削作業では、既存地中埋設管の位置を把握し、破損させることなく保護することが急務である。

市街地における従来施工の維持管理では、地中探査の実施後、配管経路図等を 2 次元の図面として図化を行い、埋設管設置位置を把握する。施工現場では丁張設置、試掘を行いながら、人力と併用して慎重に作業をする必要がある。

そこで筆者らは、上記作業に ICT を活用し、地中埋設管の探査結果と ICT バックホウを連携させ、施工現場の生産性向上および既存埋設管の保護を目的とした実験をおこなった。

2. 目的

本稿は、市街地での維持管理による掘削作業において、施工現場の生産性向上および既存埋設管の保護の向上を目的としたマシンガイダンスシステムについて、検証し、評価したものである。

3. 実証実験

地中埋設管の探査結果と ICT バックホウを連携させ、施工現場の生産性向上を調査するために表-1 に示す現場条件にて検証を行った。

表-1 現場検証条件

時期	2021年3月15～18日
期間	4日間
場所	施工技術総合研究所 構内
実験範囲対象	W2m×L4m×(H1.4)
管径	50A～200A
材質	VU, SGP-W

市街地の維持管理を想定するため、50A～200A の管および障害物を想定したアルミ板を埋設した。

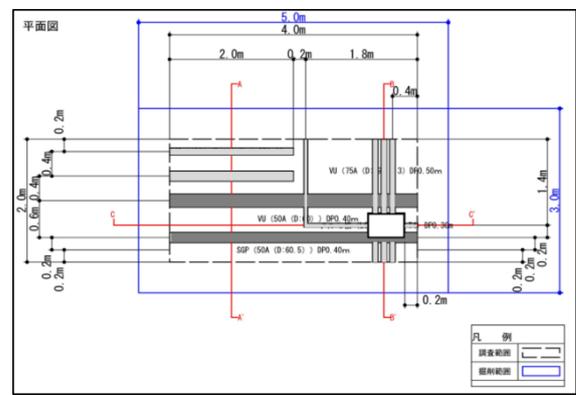


図-1 埋設管配置平面図

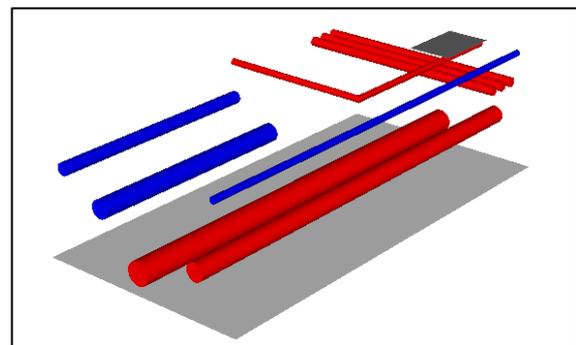


図-2 埋設管配置状況 探査結果3D表示

埋設管の設置には、レーキによる敷き均し、タンパによる締固めを実施し、土の密度が一定になるように留意しながら、実験準備を行った。



写真-1 検証に利用した埋設管



写真-2 埋設管設置完了状況

検証を行った手順について表-2に示す。

表-2 検証手順

手順	実施内容
1	地中探査の実施後、地中埋設管データを解析し3Dモデル化する
2	3Dモデル化された埋設管の上部より、15cmオフセットした3次元設計データを、埋設管の保護データとして作成
3	埋設管の保護データをLandXml化し、ICTバックホウに搭載する
4	ICTバックホウにて床掘り作業を行い、作業時間を計測する
5	再度埋戻しを行い、通常床掘り作業時間を計測する
6	上記4と5の作業時間を比較する

3.1 地下探査の実施

埋設管位置の把握を行うため、地下探査を行った。地下部の非破壊探査技術として、電磁波地中レーダ法と電磁誘導法がある。電磁誘導法では磁性体が磁界に影響を与える現象を利用するため、金属系の埋設物しか検知できない。

しかし、実際の掘削作業には材質を問わず埋設物を検知する必要があるため、媒質内の電磁波伝播と反射を利用する電磁波地中レーダ法を使用した。使用した多配列地中レーダシステムの仕様を表-3に示す。地中探査の実施状況においては写真-3に示す。

表-3 多配列地中レーダシステムの仕様

探査能力	探査深度：1.5m程度
探査精度	水平位置：±10cm
	深度位置：±10cm (GL-1m以浅) ±10%程度 (GL-1m以深)
施工能力	500m ² ～1,000m ² 程度/日
適用条件	気象条件：雨天不可



写真-3 地中探査の実施状況

多配列地中レーダシステムから取得された地中レーダ平面処理データを解析することにより、地中埋設物の位置を把握した(図-3)。また、横断データおよび縦断データを処理・解析を行う事により3Dモデル化を行った。

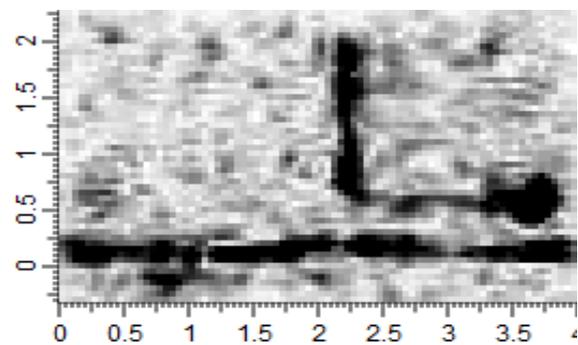


図-3 地中レーダ平面処理データ

3.2 地中計測データのレジストレーション作業

地下探査結果の3Dモデルは、現場の座標系ではなくローカル座標となる。そのため、絶対座標の現場基準点を計測し、相対座標となっている地下探査結果の3Dモデルの基準点をTS測量およびGNSS測量にて統合し現場座標に変換した。(図-4)

また、埋設管保護データを作成するために、標高値が必要となるため、地上型レーザースキャナーを用いて点群の計測を行った。また、デジタル処理中に周囲の状況を把握しやすくするため、取得した点群を用いて埋設管位置の可視化を行った。



図-4 地上の基準点配置状況

3.3 埋設管保護データの作成

地中の埋設管保護データに関しては、通常のICT土工にて利用されるデータ形式と変わらない。

そのため、深さ方向での3次元設計データではなく高さ方向(標高値)を利用して不整三角網(TIN)データを作成する必要がある。前述の地中計測データのレジストレーション作業にて取得した3Dモデルは現場座標に変換するとともに探査誤差を考慮するため、3Dモデルの15cm上部へとオフセットした高さの3次元座標を算出し、それらを結線した不整三角網データを作成した。

利用したソフトウェアは一般的に広く利用されているシステムを用いて作成した。作成した埋設管保護データは図-5、配置状況は図-6に示す。

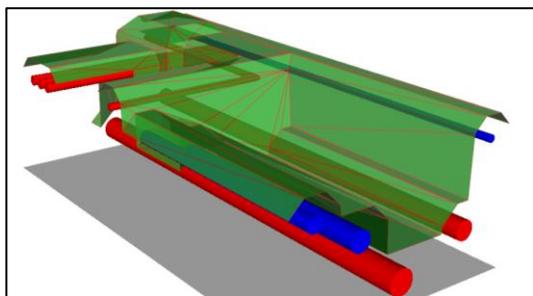


図-5 埋設管保護データの作成

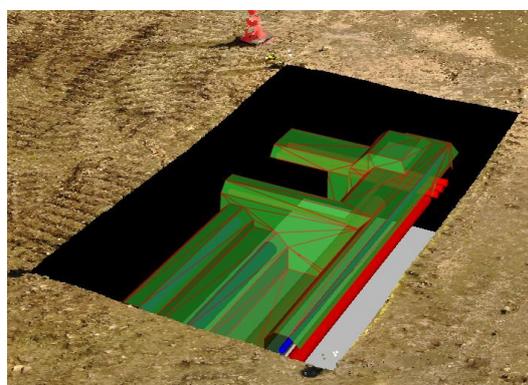


図-6 埋設管保護データの配置状況

3.4 ICT活用による掘削作業計測

本検証における4m×2m(深さ約1.2m)のICT活用による準備作業および掘削作業を実施した。検証作業においては写真-4、作業時間においては表-4に示す。ICT活用による床掘は、マシンガイダンス機能を搭載したバックホウ0.25m³を用いた。ガイダンス画面に表示される埋設管保護データと、バケット位置をリアルタイムに確認し作業を実施した。本検証においては、マシンガイダンスシステムを利用したため、作業を実施するオペレータの技量によって掘削時間は異なる。本検証におけるバックホウのオペレータは、日ごろからバックホウの操作に長けている人材にて実証実験を行った。



写真-4 ICT建機による掘削作業

表-4 ICT活用による準備作業と必要時間

区分	実施内容	時間
探査	地中探査	10分
	3Dモデル化(解析・図化)	40分
準備	埋設管保護データ作成	60分
	3D設計データ作成	
施工	ICTバックホウを床掘	45分
合計		155分

3.5 従来施工での掘削作業計測

本検証における4m×2m(深さ約1.2m)の従来施工による準備作業および掘削作業を実施し、マシンガイダンス機能を利用しないバックホウ0.25m³を用いた。検証作業においては写真-5、作業時間においては表-5に示す。

埋設管を保護する目的から、従来施工による床掘作業においては以下の作業を頻繁に行いながら行った。

- ・平面位置をコンベックス等にて計測
- ・深さをレベルにて計測
- ・埋設管の有無を手元作業員に確認及び指示
- ・確認のための手掘り試掘



写真-5 従来建機による掘削作業

表-5 従来施工による準備作業と必要時間

区分	実施内容	時間
探査	地中探査	10分
	地中探査結果報告書	120分
	配管経路図	
準備	丁張計算	20分
	丁張設置	
施工	試掘・埋設管確認	130分
	人力を併用した床掘	
合計		280分

3.7 埋設管の保護状況

埋設管の保護状況について、ICT活用と従来施工での違いを表-6に示す。

ICT施工では埋設管への破損はなく、試掘して管までの距離を計測するとデータ通りに15cm上までの掘削結果であった。(写真-6)

従来施工では、バケット刃先が埋設管へ接触することがあり、損傷が2箇所、破損が1箇所であった。(写真-7)

表-6 従来施工とICT施工による埋設管接触箇所

施工区分	埋設管の状況	個所数
ICT施工	損傷	0 箇所
	破損	0 箇所
従来施工	損傷	2 箇所
	破損	1 箇所



写真-6 ICT施工実施時の掘削結果



写真-7 従来施工時のバケット接触による破損箇所

4. まとめ

従来施工時間とICT施工時間を比較すると、45%程度の縮減効果が得られた。その要因として丁張設置に関する手間の縮減、地中の状態が把握できる事によるオペレータの生産性の向上、埋設物破損のリスクが低減できるため、埋設管破損後の修復作業等が不要になるなどの効果が見られた。

また、本検証現場では4m×2m(深さ約1.2m)の狭隘環境であるため、丁張計算、丁張設置の作業が20分と少ない。実施工ではより多くの丁張設置および測量計算作業も時間がかかると想定されるため、更なる時間の縮減効果が期待できる。

安全面では、コンベックスによる平面位置の測定やバケット爪先を施工箇所近くにて目視しながら作業を進める必要があるが、ICTの活用により人員が施工箇所付近に立ち入るの必要が無くなるため、安全面による効果も期待できる。

しかし、3次元設計データが不可欠なことや、ICT建設機械の導入が必須であるため、費用面では施工者の負担が大きくなってしまうという課題や、細かな埋設管の保護や、狭隘環境での施工では、バックホウのバケットサイズに合わせて埋設管保護データを作成する必要がある等の課題がある。

小型建設機械に取り付け可能なICTシステムが市場に出回り、中小規模の施工現場に導入されやすくなることを期待したい。

5. おわりに

本稿では、市街地での維持管理による掘削作業における施工現場の生産性向上および既存埋設管の保護の向上を目的とし、3次元設計データを用いたマシンガイダンスの活用についての研究を行った。ICT建設機械を利用するためには、地中探査結果より3次元設計データを作成することが必要不可欠であるが、人工数の削減および作業時間の短縮効果が大きいと同時に、地下埋設管の保護に効果的である事が分かった。埋設管の保護においては、埋設管破損時の復旧作業の短縮、オペレータによる作業の容易さなど、様々な波及効果が得られると考えられる。今後もICTを利用した活用方法や小規模土工におけるICTの現場適用性および効果に関する研究に取り組んで参りたい。