

17. 測量と施工の双方に貢献する汎用性の高い ICT ショベルシステムの開発

(株)トプコンポジショニングアジア○小林 雅佳

1. はじめに

現在、i-Construction の普及が進んでいるが、規模の大きい現場での普及に留まっており、発注件数の多い中小規模の現場での ICT 技術の活用が課題となっている。規模の小さい現場では、3D 設計データの作成や ICT 施工に関する技術習得及び活用に関心を割くことができないことが一つの理由として挙げられる。そのような課題を解決できるシステムとして、測量から ICT 施工まで少人数で容易に行える ICT ショベルマシンガイダンス (MG) システムとなる製品名 3D-MG LPS ショベル「X-M3x LN」, 通称“杭ナビショベル” (以下本システム) を開発した。本システムでは、自動追尾型測量機とタブレットにより、3D 設計データを活用した測量及び施工が可能となる。本システムはミニショベルにも装着することが可能であるため、中小規模現場での ICT 技術普及に寄与することが期待され、測量と施工のどちらにも貢献する汎用性の高い本システムを紹介する。

2. 本システム開発の背景

従来の ICT 建機のコンセプトは大規模工事を効果的に施工することに主眼がおかれていた。大規模工事では、上空視界がひらけた現場の為、GNSS を用いた施工システムを用いることに問題はなく、また施工に用いる 3D 設計データも準備されている。しかしながら、中小規模の現場に大型現場に最適化された ICT 建機のシステムを当てはめようとするとフィットしないことが起こりうる。そこで、中小規模の現場での ICT 施工に求められる要件を考えた。中小規模の土木現場の特徴として、次が挙げられる。

- ①施工土量が少ない。
- ②施工工期が短い。
- ③工事金額が小さい。
- ④都市部の施工の場合、上空視界が悪く安定した GNSS の情報が取得しづらい。
- ⑤施工者のスキルが大規模現場に比べて高くない。
- ⑥平易な施工が多い。
- ⑦3D 設計データが無い場合もある。

以上をふまえ、中小規模の現場で ICT 施工を行う為の ICT 建機システムの開発を行った。従来の

ショベル型マシンガイダンスシステムと比較して本システムの最大の特徴は、重機の位置を計測する測位的手段に GNSS ではなく、トータルステーション (以下 TS) 型の追尾測量機を用いたことである。また、その測量機は施工以外の測量にも用いることができるため、本システムを用いると施工工期の中で ICT 建機を使わない工程においても測量機を遊ばせることなく有効に使うことができる利点がある。

3. 開発の主眼と構成

本システムを開発するにおいて、その構成に中小規模の現場を意識した開発を行った。以下にその構成のコンセプトを説明する。

3.1 測位用追尾測量機

従来のプリズム追尾型の ICT 建機は一般 TS を用いていたが、使用者の取り扱いの容易さを目的として自動整準機能のついた安価型測量機、(以下 LN-150) を採用した (図-1)。LN-150 は取り扱いが非常に容易なものの、追尾距離が最大 130m と通常の TS に比べて制限がある。しかしながら中小規模の土木現場を想定した場合、この最大距離でも問題は無いと判断した。また、LN-150 は通常の測量作業にも使用することは可能であり、ICT 建機を用いない場合は測設や検測などの作業を行うことも可能である。



図-1 LN-150

3.2 ディスプレイ用タブレット

従来の ICT 建機のシステムでは土木現場で求められる環境や耐久性から専用のディスプレイが用いられていたが、本システムでは汎用の耐久型タブレット端末をディスプレイとして採用した (図-

2)。このメリットとして、システム価格を下げるだけでなく、端末が故障した場合でも入手しやすいことが挙げられる。一方耐環境性には課題が生じたが、中小規模の工事での利用を想定した場合、大きな影響はないと判断した。



図-2 ディスプレイ用タブレット

3.3 ソフトウェア

本システムに用いるソフトウェアは、通常の3D設計を使った3D施工ができることに加え、高さの管理だけの2D施工も可能である(図-3)。又、あらかじめ設計データを入力しなくても現場で設計が作成できる機能を有している。これにより3D設計データを作るスキルが無い場合でもICT施工ができるため、現場施工者が3D設計データを事前に作らなければいけない負担を軽減している。

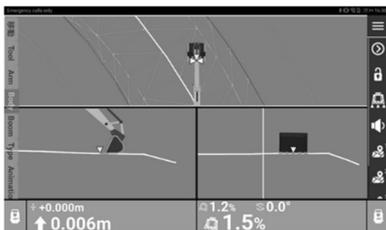


図-3 ソフトウェア画面

3.4 測位用プリズム

測位用プリズムは、専用ブラケットを用いることで簡単に建機に取り付けが可能である。GNSS型のICT建機の場合2個のアンテナを保持するポールなどが必要になるが、本システムの場合は1本の固定ポールでよく、小型の建機にも後付けで取り付けが可能となる。(図-4) 又、プリズム追尾型のシステムの為、GNSSシステムで必要なローカライズ作業が不要であり、上空視界が悪い都市部、橋脚の下、山岳部等でも利用が可能である。



図-4 追尾用測量機とプリズム

以上の開発要素より、本システムは中小規模の現場でICT建機を使用するためのハードルを下げることを実現している。

4. 本システムの説明

4.1 システム構成

本システムは、自動追尾機能に特化した望遠鏡の無いTSであるLN-150を核とし、測量システムと3Dマシンガイダンス(MG)システム兼用のソフトウェアがインストールされたタブレットを用いて、現場の生産性の向上を図るシステムである。測量業務では、ワンマンで効率的に測量業務が実施でき、施工業務では、測量業務で活用したLN-150をそのまま活用し、タブレットを建機にセットすることでICT建機化が可能になる。システム構成は、LN-150、タブレット、360°プリズム、角度情報検出用の4個のIMUチルトセンサ、コントローラの機器構成からなる(図-5)。

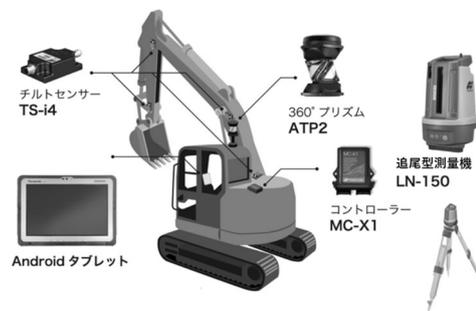


図-5 システム構成

4.2 ソフトウェア機能説明

タブレットに表示される画面には設計値との相対位置関係を数値及びグラフィックによって表示することにより視覚的にもわかりやすいインターフェースとなっている。設計面との高低差表示だけでなく、グレードインジケータで視覚的にもわかりやすく設計面にオペレータを誘導できる。(図-6) 更に、バケットの横断勾配も表示され、確認しながら作業を進めることができる。また、誘導音によって誘導する機能も備えており、画面を見ずに音でバケットをコントロールすることができる。これにより、オペレータは、バケットの動きに集中し、周囲の状況も把握しながら施工することが可能となる。

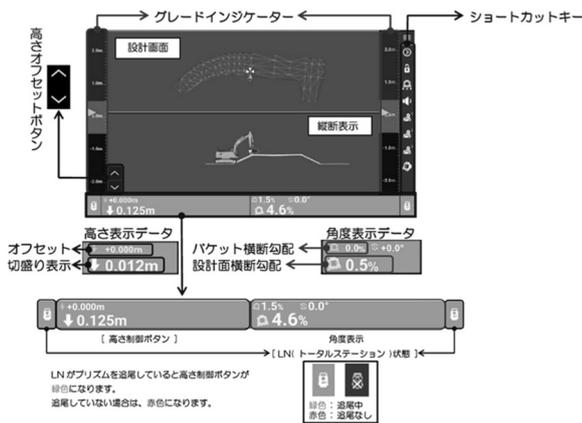


図-6 ソフトウェア画面

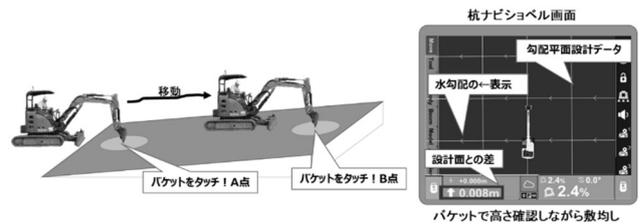


図-8 傾斜平面作成方法

4.3 簡易設計作成機能

本システムでは、ショベルに乗ったままバケットを使って設計を作成できる機能や、側溝などの高さを測量機で数点計測することにより、その場で設計データを作成することを可能としている。特に小規模土工においては設計データを持たず現地合わせて施工する例も多く、そのような現場においても ICT 建機の導入を本システムでは活用できる。

4.3.1 水平平面設計データの作成

高さの基準としたい位置にバケット刃先をタッチして計測、タッチした点の高さを基準に平面設計データ作成機能で勾配無し infinite 平面設計データを作成可能。任意のスパンのグリッド線設置や高さのオフセット値も画面から簡単に入力できる。(図-7)

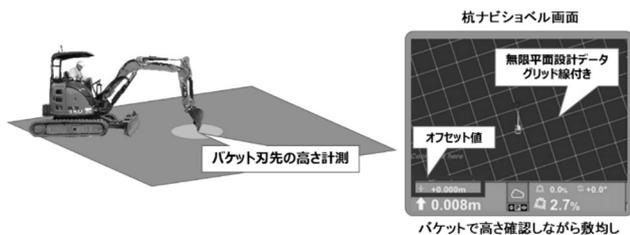


図-7 無限水平面作成方法

4.3.2 傾斜平面設計データの作成

水平面だけではなく水勾配等の傾斜面作成のため、傾斜の基準とする2点の位置をバケット刃先で計測、傾斜平面設計データ作成機能で2点の座標から得られる傾斜に応じた無限傾斜平面設計データを作成できる。(図-8)

4.3.3 簡易 TIN データの作成

現地施工エリアの外周を LN-150 でワンマン計測、TIN データ作成機能で計測点を元にした面データを簡単に作成できる。(図-9)

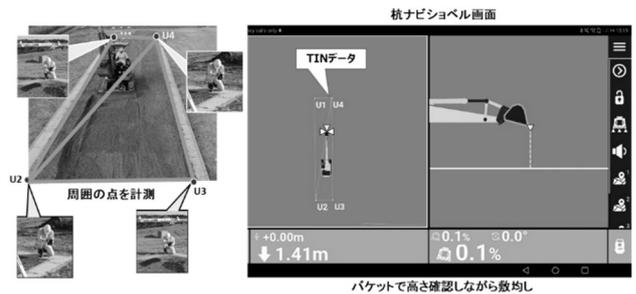


図-9 簡易 TIN データ作成方法

5. システムの刃先精度検証

本システムで得られる刃先座標の精度の検証を行った。検証方法としては、刃先の座標を別の TS で直接測定して得られる座標値(N,E,H)と、ディスプレイ上に表示されるショベルシステムの刃先座標値(N,E,H)とを比較する方法である。機体を水平に設置しバケット刃先を機体に近い場所に置いた場合、アーム、ブームを伸ばしバケット刃先を遠くに置いた場合の2通りを東西南北のそれぞれの方角で実施した。(図-10) また、同様な方法で車体を8度傾斜させた状態での精度検証も合わせて実施した。(写真-1)

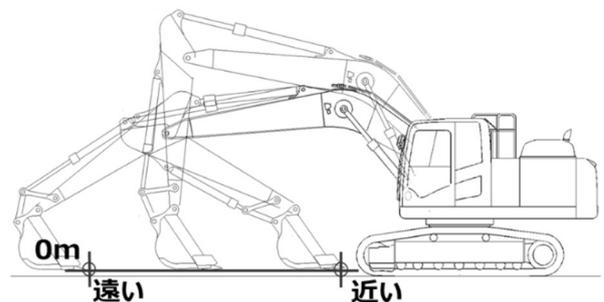


図-10 精度検証計測ポイント



写真-1 車体傾斜時の計測状況

表-1 に刃先座標の表示値と TS で測定した座標値との差を示す。最大-41mm の誤差があったものの、標準偏差は、13 mm (N), 17mm (E), 4 mm (H) に収まっており、特に H (標高) 方向の誤差の小ささは TS で追尾するシステムならではのものであり、GNSS システムと比較すると特筆すべき精度の良さと言える。

表-1 車体傾斜時の計測状況

重機向き	バケット位置	重機姿勢	TSとの差 (m)			
			N	E	H	
西	近い	水平	-0.011	-0.022	-0.004	
	遠い		-0.007	-0.027	0.002	
東	近い		-0.009	-0.001	-0.001	
	遠い		-0.016	0.006	0.002	
南	近い		-0.026	-0.021	-0.001	
	遠い		-0.034	-0.041	0.001	
北	近い		-0.001	-0.022	-0.011	
	遠い		0.008	-0.006	-0.002	
西	近い		8度勾配	-0.006	-0.027	-0.006
東	近い			-0.002	0.018	-0.004
南	近い			-0.023	-0.006	0.006
北	近い			0.010	-0.024	-0.002
標準偏差				0.013	0.017	0.004

6. 小規模現場での活用検証

実際に小規模現場をシミュレーションした検証を行った。検証は、通常施工に慣れたオペレータに長さ10m、深さ40cmの側溝掘削を想定した施工をおこなってもらい、通常施工と、3D設計を用いて施工する3D施工及び高さだけを管理する2D施工の3つのパターンにおいて、それぞれ作業にかかった時間を比較検証した。検証の様子を写真-2に示す。

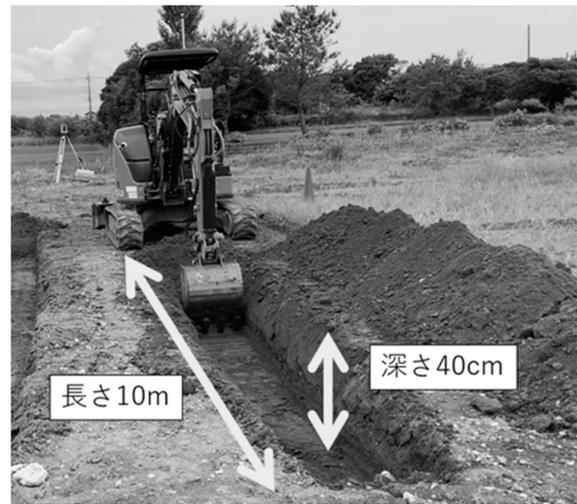


写真-2 小規模現場を想定した活用検証の様子

検証結果として、それぞれにかかった時間を表-2に示す。この結果からは3D施工では通常施工に比べて約4%時間が多くかかった。この理由をオペレータに聞くと、3D設計を使った施工ではディスプレイに表示される情報量が多いため、その情報を一度頭の中で整理するための時間が入ったためとのコメントだった。これは3D施工に慣れていないことが主な要因であり、使いこなしていけば時間は短くなると予想される。一方、高さの情報しかない2D施工では通常施工に比べて時間は短くなった。

表-2 施工にかかった時間

手法	時間
通常施工	25分16秒
3D施工	26分14秒
2D施工	23分42秒

7. まとめ

中小規模の現場でのICT施工に適したICTショベルシステムの開発を行った。本システムは、汎用タブレットを採用し、測量装置に現場での位置出しや検測に普段使われているLN-150を活用し、小型ショベルにも装着可能なマシンガイダンスシステムを実現した。又、本システムはICT施工に必要な精度を有していることと、施工の生産性も向上することを確認した。小規模土工に対応でき、初期投資を抑えることが出来る本システムを土木市場に提供することで、i-Construction推進だけではなく、下水工事、農業土木、建築工事に至るまでの多様な工事の更なるステップアップの一助になれることを期待したい。