

CMI 報告

バックホウ支援システムの 現状と課題

上石 修二

1. はじめに

バックホウオペレータは、土木工事現場の掘削作業等において、設計情報と測量結果に基づき設置された“丁張り”を目視で確認して作業を実施している。これに対して、オペレータにバケット刃先位置、および設計との差分を表示するインターフェイスが測量機器メーカーにより提供されるようになってきている。

本報告では、このバックホウのオペレータへの支援システム（バックホウ支援システム）について、(株)ニコン・トリンプル、(株)トプコン、ライカジオシステムズ(株)の3社より提供されているシステムの概要を報告する。

2. 全体システム構成

バックホウ支援システムは、オペレータがバックホウを操作する上で必要となる情報を提供するもので、バックホウが現在有る場所の「設計データ」と、「バケット位置の良否判定データ」（後出）を提供することで、掘削工・法面整形工を効率的かつ正確に行うことを目的としたものである。

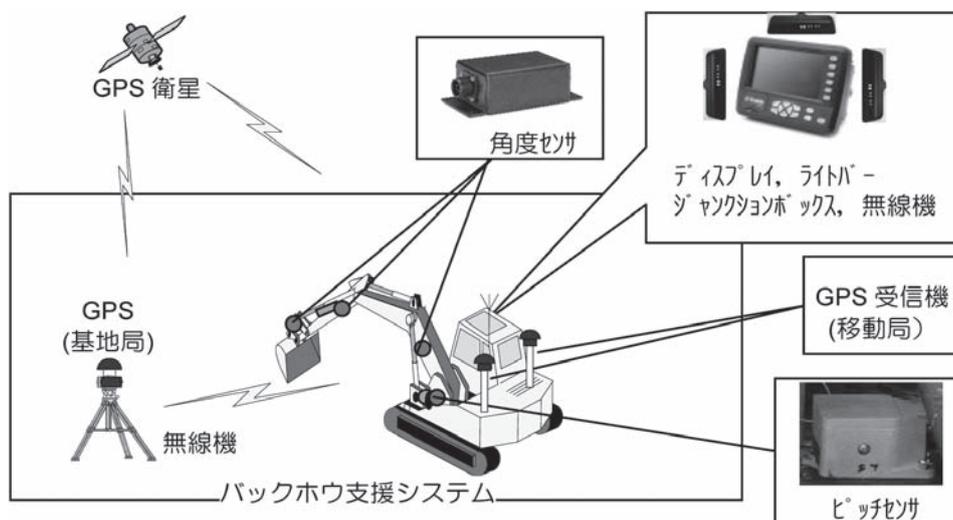
このシステムは、作業中常に変化している、バックホウ車体の中心位置、向き、傾斜（ピッチング、ローリング）と、バケット位置を計測・演算できる機器を有する施工支援システムである。システム構成を図一1に、搭載機器を表一1に示す。

表一1 バックホウ支援システム搭載機器

機器	計測データ
① GPS 受信機	本体位置（3次元座標）
	本体向き（機軸に対する回転角）
	GPS 補正情報【基地局】
② 傾斜センサ	本体ピッチング、ローリング
③ 変位センサ 傾斜センサ	シリンダストローク (作業機装置支点角度に変換)
	作業機装置支点角度
④ コントロールユニット およびモニタ	設計とバケット位置との差異等

3. システムの利用の効果

バックホウ支援システムによる掘削工では、バケット位置（刃先位置）の3次元座標から、3次元設計データとの差分を算出し、操作中に常時オペレータへ提供することで、従来の法丁張り・トンボ丁張りの設置が



図一1 バックホウ支援システムの構成

ほぼ不要となる。

また、オペレータが操作室から直接確認できない切り出し位置や、丁張りや検測が必要となる法尻、掘削底面や曲線区間の設計形状を必要な時に確認できるため、従来必要であった施工を中断しての検測や丁張り設置待ち、降車を伴う丁張りの目視確認が不要となる。

これに加え、オペレータが必要と判断する任意の箇所の設計情報が容易に提供されるため、従来では丁張りの設置位置に依存する出来形が、丁張り位置に関係なく出来形が均一化する。

このように、出来形品質が向上し、かつ、掘削工の作業工程が短縮されるため、渇水期での実施や降雪状況により工事時期と期間に制限・制約を受ける地域においては特に本システムの活用効果が高いと考えられる。

また、本システムによる掘削工では、出来形が均一化することから、任意の横断面における出来形管理によっても、掘削範囲全体の出来形・出来ばえが推定できる。このため、施工条件などに考慮した、自由度の高い、合理的な施工管理・出来形管理や監督・検査を行うことができる。

4. システムの提供する情報／画面

(1) 3次元設計データ

バックホウ支援システムで利用する3次元設計データは、使用するシステムにより、「境界線データ」のみの場合、「境界線データと3次元座標で構成される不等三角網データ」（「設計サーフェス」という）のみの場合、「境界線データ」と「設計サーフェス」の両方の場合などがある。

(2) 支援画面

1) 平面位置の提供

機械位置の平面位置の提供は、各社とも平面図への機械位置をプロットし、方向を合わせている。これを用いて、移動作業、旋回作業などを行っている。

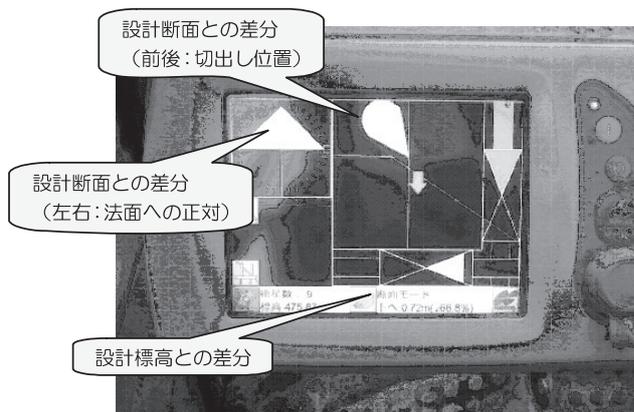
2) 設計断面とバケット位置情報の提供

情報機器メーカ（3社）の提供する画面の例を図2～図4に示した。

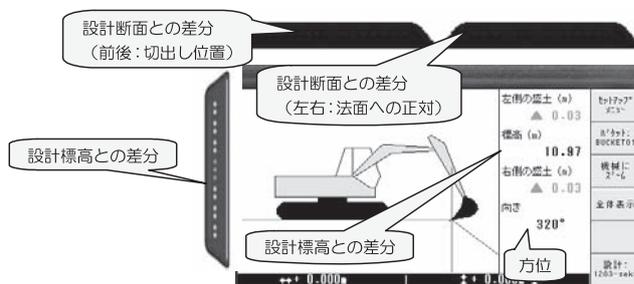
バックホウ支援システムは、機器の計測データなどに基づき、バケットセンターに対する断面方向の設計データを演算して、表示する機能を有する。オペレータが行う操作を支援するため、操作の良否を判定できるデータを演算して、表示する機能を併せて持っている。ここで言う「操作の良否を判定できるデータ」は、



図—2 断面情報の提供画面（Leica Digger 3D）



図—3 断面情報の提供画面（TOPCON 3D-Xi）



図—4 断面情報の提供画面（Nikon Trimble GCS900）

以下に示すとおりである。

①法面正対の良否判定データ

設計上の法面とバックホウ本体向きとの差分を提供する。

②切り出し位置の良否判定データ

設計上の法肩線データとバケット位置との差分を提供する。

③掘削位置の良否判定データ

設計面とバケット位置との差分を提供する。

④掘削変化位置の良否判定データ

設計上の法尻線等とバケット位置との差分を提供する。

5. インターフェイスの課題

これからの ICT 建設機械は、設計情報の利用、作業環境などの状況把握技術の利用が進んでくることが想定され、改めて、建設機械を操作するオペレータに提供する情報とは何か、オペレータと建設機械の役割分担など所謂、マン・マシン・インターフェイスについての整理が必要であると考えられる。

(1) 作業プロセス

表—2 では機械操作、作業終了判断、利用情報を示した。機械操作は、オペレータがレバー操作により行っているもので、手慣れた操作を効率的に行うとともに、終了判断によって次の作業プロセスに進められ

表—2 バックホウ作業における利用情報

作業/動作	作業終了の判断	利用情報
移動	指示された作業場所に到着した	・機械位置 ・移動ルート ・施工位置、範囲
①旋回	現上部旋回体の向きが対象に正対した	・機械位置、向き ・正対方向 ・刃先位置 ・目標形状 ・現況地形
②バケット操作	刃先位置が切り出し位置にセットされた	・刃先位置 ・目標形状 ・現況地形
③掘削	想定した軌跡で掘削した(または、バケットが一杯になった)	・刃先位置、軌跡 ・現況形状 ・目標形状 ・バケット土砂状況
④バケット掘り	バケットがほぼ水平となり旋回可能な状態となった	・バケット位置 ・バケット角度 ・バケット土砂状況
⑤旋回	放土予定位置(ダンプ位置)の上にバケットがきた	・機械位置、向き ・バケット引上高さ ・ベッセル高さ ・ダンプ位置 ・障害物
⑥積込み	バケットの土砂放出完了	・バケット土砂状況 ・ベッセル内土砂状況
⑦小移動	次の作業位置に移動した	・機械周辺の状況 ・機械位置
(①-⑦の繰り返し)	作業予定範囲を終了した	・施工完了範囲 ・施工予定範囲
移動	機械の保管場所に移動した	・機械位置 ・移動ルート ・施工位置、範囲

ている。

オペレータが行う操作を支援するため、操作の良否を判定できるデータを提供しているが(前出)、情報を数値で見せるだけでは支援にはならないので、分かり易い情報提供のしかたが求められる。オペレータが行っている“作業”と“判断”の部分をどのように支援するか、まだ、研究実績¹⁾も少なく、今後の研究によって“使い易い”I/Fを開発する必要がある。

(2) I/F 課題

オペレータに対してトータルに支援することで、操作が容易かつ高度に実現するものと考えられる。その結果、安全性の向上、効率化においても効果が期待される。今後、外界センサとして画像データの利用やレーザ測定器の利用が検討され、作業指示技術、施工結果の評価技術等が想定される。

従って、今後のインターフェイスについて、以下のような課題があると考えられる。

- ①外界センサ情報の利用(レーザ、画像)
- ②施工目標と作業指示情報の利用
- ③施工結果を表示・評価する I/F 画面利用

6. まとめ

このバックホウ支援システムについては、実工事における検証実験を経て、さらにシステムの高度化とインターフェイスの使い易さの向上が期待される。

人間—機械間のインターフェイスについては、ユーザビリティあるいは安全確保という点から過去研究されてきているが、施工現場での ICT 利用が新しい局面を迎えつつある昨今、新たに研究すべき課題も多く、CMI は今後もそれらの研究・開発の一端を担っていく所存である。

J|C|MA

《参考文献》

- 1) 「建設ロボット計測支援システムの実装・実験」上石, 建設の施工企画, 2007.12

【筆者紹介】

上石 修二(あげいし しゅうじ)
施工技術総合研究所
研究第三部 次長

