

情報化施工に基づく無人化施工の実施

— 無人情報化施工システムの完成 —

北原成郎・周藤 健

無人化施工ではオペレータにリアルタイムに正確な目標を提示することで施工効率を改善することができる。赤松谷川1号床固工工事では、3次元CADをベースとした無人情報化施工システムを導入し、測量から施工、検査までを情報化施工で行った。これにより、RCC打設時の作業効率が大幅に向上し、施工管理や測量作業などの負担を大きく削減することができたので、そのシステムの概要を紹介する。

キーワード：無人化施工、情報化施工、無人測量機、排土板制御、丁張レス

1. はじめに

遠隔操作で建設機械群を有機的に組み合わせて施工する無人化施工ではオペレータにリアルタイムに的確な目標を提示することが施工効率の向上に重要である。「無人情報化施工システム」とは、GPS技術と無線技術を組み合わせ、搭載した遠隔操作式建設機械により3次元CAD情報を基に正確な施工を行うためのシステムで、測量から施工、出来形検査までを無人化施工で実現した。主な構成は①警戒区域内の測量を全て行う無人測量システム、②無人化施工で初めて排土板の高さ自動制御を実現したブルドーザ排土板制御システム、③3次元CADデータを基に丁張レスを可能にした3次元バックホウ誘導システムの導入。これらに転圧管理システムとブルドーザ敷均し管理システムをあわせて、無人化施工砂防堰堤工事の主要な工種全てにおいて、情報化施工による無人化施工を実施した。これにより、無人化施工全体に対する品質の向上と、施工管理に対するコストの低減などの成果を上げたので紹介する。

2. 工事概要

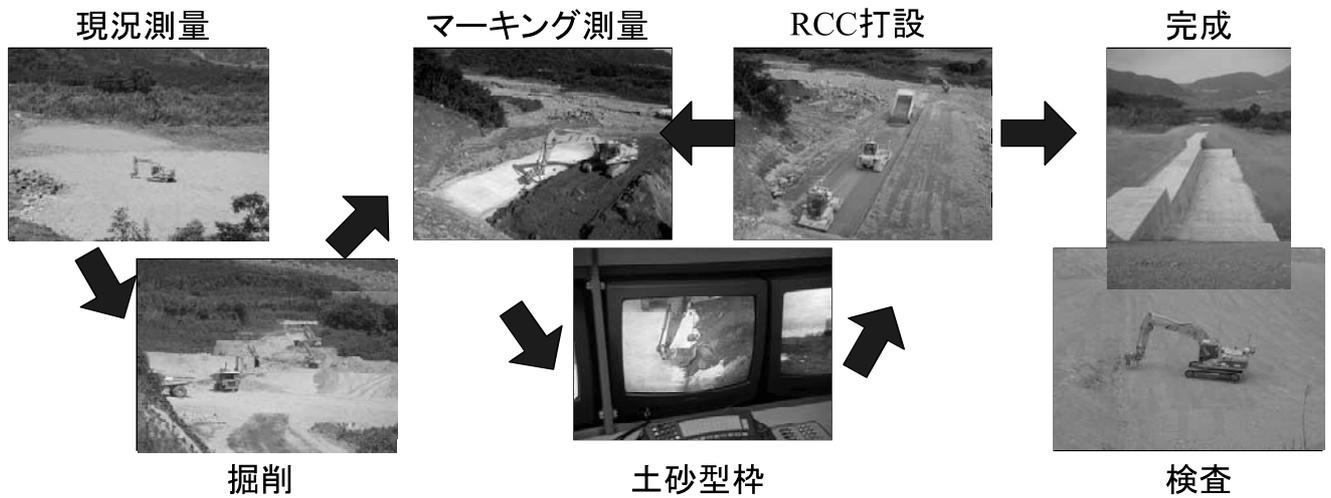
工事概要を下記に示す。また、写真—1に完成時の床固工を示す。

工事名：赤松谷川1号床固工工事
 発注者：九州地方整備局
 施工数量：床固本体工（重力式RCCコンクリート）
 堤長：357.5m 堤高：14.5m
 RCCコンクリート：16,680m³
 工期：平成18年2月10日～平成19年1月31日
 工事場所：長崎県南島原市深江町上大野木場地先

床固工の施工順序を簡単に図—1に表す。工事の特徴としては、土砂を盛土することでRCCの型枠とする土砂型枠を採用している。掘削完了後に測量を行い、土砂型枠を施工後、RCCコンクリートをダンプトラックで運搬し、ブルドーザで敷き均して、振動ローラで転圧する。この工程を繰り返して、堰堤を施工する。



写真—1 赤松谷川1号床固工



図一 1 施工順序

3. システムの概要

技術の特徴を述べる。本システムでは、RTK-GPSを計測機器として利用し、これを各建設機械の用途に合わせてシステム化して搭載した。無人化施工では作業を行う機械の座標を直接表示することが困難であった。今回、砂防堰堤工事の無人化施工で精度を要求される建設機械について、現況測量や検査に用いる測量機から掘削やコンクリート敷き均しに用いるバックホウ、ブルドーザの主要機械に対して計測できるシステムを構築した。これにより全ての作業をCAD等で数値化し、オペレータに指示することが可能になった。無人化施工では丁張の設置に時間がかかるため、こうした測量の手間は大幅な省力化が可能になった。

(1) 無人化施工システム概要

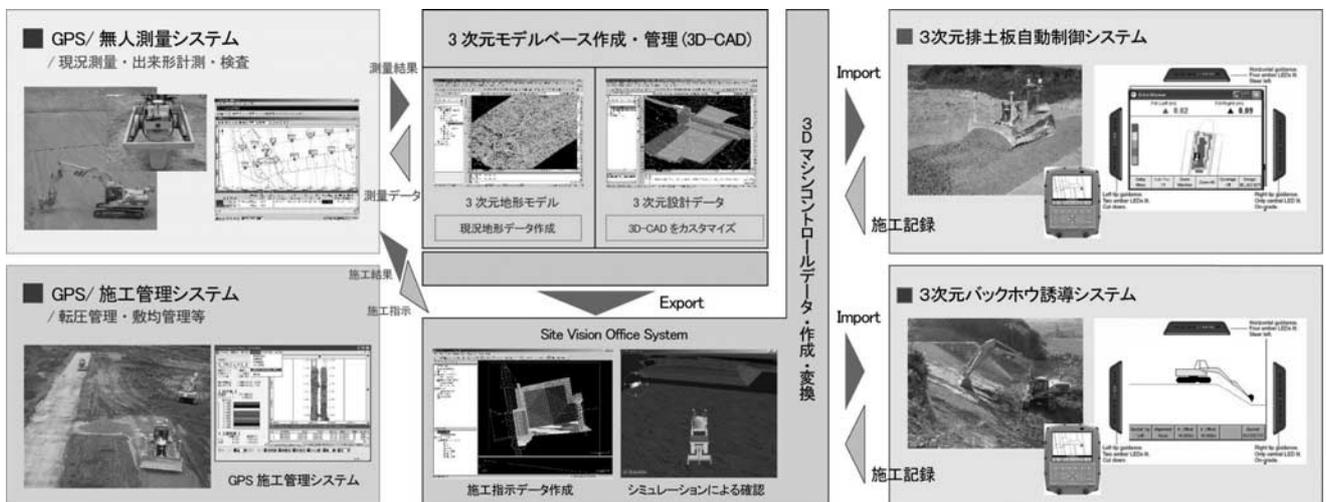
無人情報化施工システムは、施工を行う各建設機械

に搭載したシステムとこれを支援するCADをベースとしたシステムから成り立っている。無人測量システムは現況測量から検査まで警戒区域内の測量作業を受け持つ。主にRCC打設時の敷き均しを行う排土板制御システムは自動で排土板の高さを制御することで均一な施工が可能となる。丁張の代わりに施工時の設計データを画面に表示することでオペレータに常時正確な目標を提供するバックホウ3次元誘導システムがある(図一2)。

(2) 無人測量システム

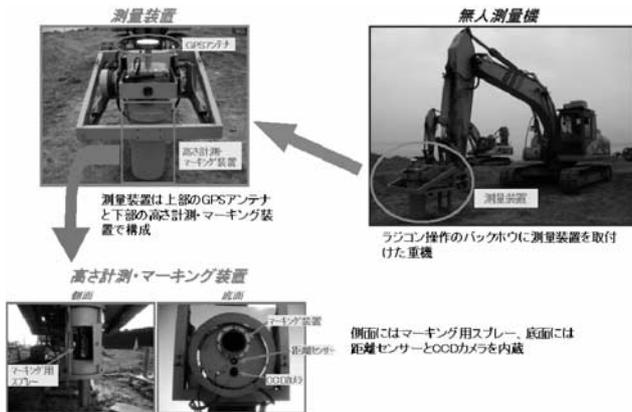
無人化施工用バックホウ(0.7 m³)先端に設置した測量装置にGPSを設置し、水平を保ちながら、精度よくマーキングおよび測量チェックを行うシステムで、すべての操作を遠隔操縦で行うことが可能である。

作業手順は、操作室に設置したPCに設計データとGPS位置をリアルタイムに表示する。コントロール



図一 2 無人情報化施工システム概念図

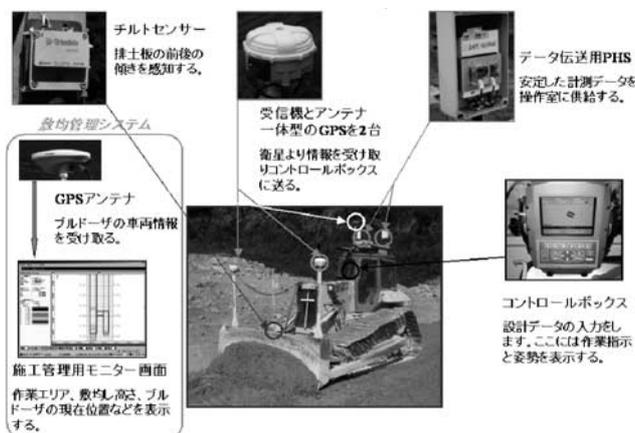
用 PC のディスプレイ上に視認カメラ映像を表示，確認しながら装置を制御する。目標に近づいたら，自動計測を行い，目標位置に合わせる。確認後，マーキング装置で現地地盤へスプレーでマーキングを行う（図—3）。



図—3 無人測量システム

(3) 排土板制御システム

ブルドーザの排土板の両端に GPS 受信機を取り付け，排土板の位置を直接計測するシステムで，チルトセンサーと電磁バルブを組み合わせ，排土板の高さを自動で制御する。高さはモニター画面に表示される他，LED のランプ表示で高さレベルが表示できる。無人化施工では，LED (Lightbar) のデータを，PHS を使って伝送し，遠隔操作室で表示した。自動制御の ON / OFF は建設機械側の制御信号を使って操作する。排土板の制御情報は事前に 3DCAD で生成したデータを CF カードで受け渡し，動作する。施工データはブルドーザの運転席天井部に取り付けた GPS アンテナにより常時計測する。その結果は，敷き均し管理システムでリアルタイムに表示，記録する（図—4）。



図—4 排土板制御システム

(4) 3次元バックホウ誘導システム

バックホウのカウンターウェイト上に 2 つの GPS を設置し，車体の傾きを測るピッチセンサ，ブーム・アーム・バケットの傾斜を測る 3 個の傾斜センサのデータを CAN (建設機械等車両用ネットワーク) に接続されたコントローラであるコンピュータ上でバケットの姿勢までを算出し，表示するシステムである。これにより事前に入力した CAD データに沿って動作させたバケットの位置がオペレータに容易に確認できる。

位置情報は，運転席内のディスプレイにリアルタイムで表示され，3次元設計データを事前に CF カードでディスプレイ本体に導入する事により，設計データとの相対的な位置関係を表示することができる。運転席内には，3本のライトバーが設置されており，ディスプレイよりも直感的に，オペレータに設計データとの相対位置情報を提供する。本システムでは，ディスプレイの画面を CCD カメラで撮影し，画像を操作室に無線伝送する。また，画面の切換も遠隔で行う機能も持たせた。

無人区域における土砂型枠生成や法面施工において，ディスプレイの情報を参照しながら，丁張り無しで作業が可能となった（図—5）。



図—5 バックホウ誘導システム

(5) その他のシステム

(a) 転圧機械管理システム

振動ローラに GPS を搭載し，PHS を用いて GPS 計測データをシステム PC に送信することにより，車両位置を測位し転圧工事をリアルタイムに管理するシステムで，転圧回数を色別に表示，記録が可能である。

(b) 敷均管理システム

ブルドーザの運転席上に GPS を搭載し、PHS を用いて GPS 計測データをシステム PC に送信することにより、車両位置を測位しブルドーザの敷き均し作業をリアルタイムに管理するシステムで、RCC コンクリートの敷き均し状況を計測表示することができる。排土板に設置した GPS での計測では敷均し面の計測を記録することができないため、本システムで測定する。

4. システム導入結果

システムの導入効果としては、工事全体を情報化施工で行うことで、管理面や施工効率の面で省力化として大きな効果を発揮した。2次元設計データを基に、3次元データ化した計画図面を下記の図にあるように現況測量から施工指示、施工、確認および検査まで一連の施工の主な工種でシステムを稼動し、施工精度と施工効率の向上に大きく寄与した。

各システムごとの効果を箇条書きで記載する。

(1) 無人測量システム

- ① 今回の工事では、着工前測量や RCC コンクリート土砂型枠の測量、出来形確認測量等すべての測量に無人測量システムを使用することができた。
- ② GPS を利用した測量システム (GPS-RTK 測量) を使用しているので、直視できない場所でも測量が可能。
- ③ 測量精度は、XY 方向は ± 3 cm、Z 方向は ± 5 cm の誤差範囲であった。
- ④ 測量と同時にマーキングを行うことが可能で、マーキングした位置を真上からカメラで確認できるため、正確に対象を計測した。

(2) 排土板制御システム

(a) 品質の向上

- ・敷き均し精度が上がることでコンクリート撒き出し厚が均一化することで転圧効果が一定となった。
- ・仕上りの精度が向上 (現場で計測した敷き均し状況を図-6 に示す)。
- ・敷き均し時間の短縮により、コンクリートの品質が向上。

(b) 施工時間の短縮

- ・排土板の自動制御で仕上げ時間が大幅に短縮。

コンクリートの敷き均し時間を、自動制御を使う場合と LED を視認する場合とで比較したところ、自動制御で施工した場合は 1.7 倍効率が向上した。

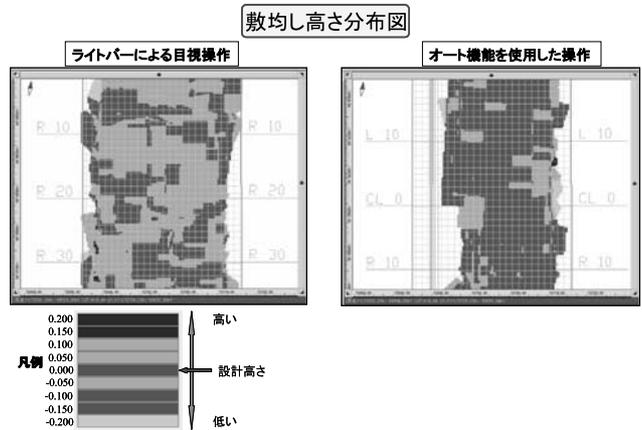


図-6 敷き均し高さ分布図の比較

- ・敷き均しのための測量作業が必要ない。
 - (c) オペレータの作業負担の軽減
 - ・排土板自動制御で目標に合わせる細かい作業がいらぬ。
 - ・無人化施工特有の精神的負担が減少した。
- また、移動カメラの位置などこれまで設置に苦労した作業が簡単になるなど副次的効果があった。

(3) 3次元バックホウ誘導システム

- ① 事前の測量作業を省略できた。
 - 測量作業の負担軽減、工程短縮
- ② 設計データを確認しながらバケットを誘導可能。
 - オペレータの技量に関らず一定の出来形を確保
- ③ 常時、設計と現況の確認が容易にできた。
 - 施工中の確認、測量の時間短縮による工程の短縮 (作業の中断がない)

図-7 は誘導システムを用いて法面掘削の仕上げ精度を丁張りをカメラで見た場合 (上) と誘導システムを利用した場合 (下) で比較したものである。システムを利用した方がばらつきの範囲が半分程度に収まった。

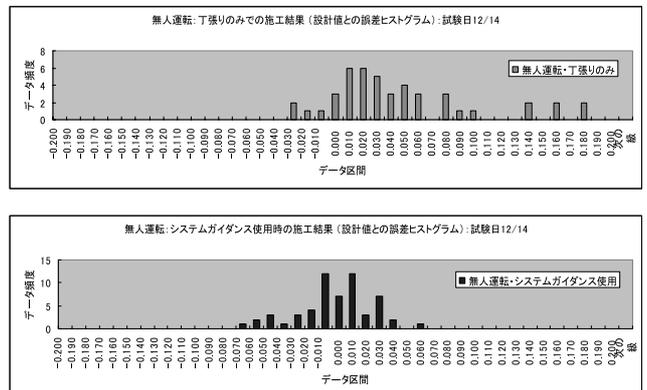


図-7 バックホウ誘導システム掘削精度比較

(4) その他のシステム

(a) 転圧機械管理システム

転圧軌跡が安定し、無駄な転圧を防ぎ、品質を向上した。

(b) 敷き均し管理システム

排土板制御システムの成果を記録することができた。一目で敷均し状況が確認できるため、作業性が向上した。

(c) 3次元CADシステム

今までは、複数システムを使用する場合それぞれのシステムに則したデータを作成する必要があったが、今回は3次元の設計データファイル1種類を作成することですべてのシステムに作業指示を与えることが可能になった。

①データ作成時間の大幅な短縮

データ作成を3次元CADですべて実施できるため、今まで複数システムを使用して行っていたデータ入力にかかる時間や入力ミスを大きく低減することができた。さらに、3次元CADによる日常業務をより簡素化させるため、工事に特化した専用コマンドを作成したことにより業務がより効率化した。

②データフィードバックによる高度な施工管理

無人測量機や重機搭載のGPSにより日々の施工出来形を計測しデータベースに保存していくことにより、施工データをCADにフィードバックし現況形状の確認や出来形管理、さらに土工量算出などの高度な管理業務を3D-CAD上で容易に行うことが可能となった。

(d) PHSデータ伝送システム

①双方向高速通信(32kbps)が可能となり、大量のデータ伝送でのトラブルが低下した。装置のレスポンスが向上し、安定した。

②ローミング機能により、現場周囲にアンテナをおくことでアンテナ配置による障害が少なくなった。これにより建設機械の配置に制限が少なくなった。

③他の無線システムに影響を与えたり、電波干渉を受けることがなくなった。連続送信できる周波数は限定されているため、データ伝送をPHSで行うことで他の周波数の節約ができた。RCCコンクリートの敷き均し作業はコンクリートの品質確保等に重要なものである。本システムは、ブルドーザの排土板を自動制御することによって、オペレータの負担を軽減するとともに、出来形の向上や品質の確保に寄与する技術である。

5. まとめ

本工事での主なシステム導入成果のまとめを以下に記す。

- ・無人化施工主要工種で情報化施工(設計データによる施工指示等)により数値を目標とした施工を実施できた。
- ・ブルドーザの排土板高さを自動で制御することで、敷き均し作業の効率を約1.7倍に向上した。
- ・無人化施工で現況測量から検査まで3次元CADデータを基に施工管理を実施し、管理の効率化へ貢献した。

その他、品質の向上や作業負担の軽減、各作業時間の短縮などの成果が上げられる。

工事全体で情報化施工が実現できたのは、無人化施工の特殊性に負うところが大きいですが、将来の情報化施工に向けて、貴重な経験を得ることができた。

今後は、無人化施工の工種の拡大と、情報化施工技術の一般工事への展開を進めていきたい。

6. おわりに

今回、現場にてご助言、ご指導を頂いた国土交通省の方々や、無人情報化施工システムを構築するにあたり、ご協力くださった新キャピラー三菱(株)、(株)ニコン・トリンプルの関係者の方々に心より感謝いたします。

JICMA

《参考文献》

- 1) 北原成郎・周藤 健：無人化施工におけるブルドーザ排土板制御システム、建設機械 512, 43 [10]

【筆者紹介】

北原 成郎 (きたはら しげお)
 (株)熊谷組
 土木事業本部
 機材部
 担当部長



周藤 健 (すどう けん)
 (株)熊谷組
 土木事業本部
 ダム技術部
 係長

