

建設機械における情報化施工システムの活用

情報化施工システムの普及に向けて

土井下 健 治・村 本 英 一・神 田 俊 彦

めざましく発展している情報通信技術（ICT）が建設機械にも適用され、情報化施工システムが普及し始めている。情報化施工の導入により、土木建設作業の施工効率向上や精度確保、安全性の向上、環境負荷低減等が期待される。さまざまなセンサ技術を組み合わせたこれら情報化施工のシステム構成例とその適用効果、課題を紹介するとともに、その普及に向けての取り組みについて紹介する。

キーワード：建設機械、情報化施工、GPS、GNSS、マシンコントロール、マシンガイダンス、プラグアンドプレイ

1. はじめに

1978年に最初のGPS衛星が米国により打ち上げられて以来、GPSによる位置測位技術はカーナビゲーションや携帯電話などにとり入れられ、今では非常に身近なものとなった。1990年代半ばには更に高精度に3次元座標を計測する、RTK-GPSといわれる手法が実用化されるに至り、現在では測量計測業務にも適用されている。さらにロシアや欧州においても同様機能の衛星であるGLONASSやGalileoが打ち上げられたため、これらの全地球航法衛星技術を総称してGlobal Navigation Satellite System（GNSS）と呼ぶようになった。

建設機械の分野においてもこのGNSS技術を活用する動きは活発になっており、ブレードを自動制御することにより作業の効率化と施工品質確保を実現する情報化施工システムが普及してきている。

本稿では、その情報化施工システムについて、建設機械での適用事例を中心に、その効果や普及に向けての取り組みについて紹介する。

2. 情報化施工とは

情報化施工とは、建設工事における設計、施工、維持管理、調査といった各生産プロセスにおける「施工」のプロセスにおいて、情報通信技術（ICT）の活用により各プロセスから得られる電子情報をやりとりし、高効率・高精度な施工を実現するもの、と定義されている。

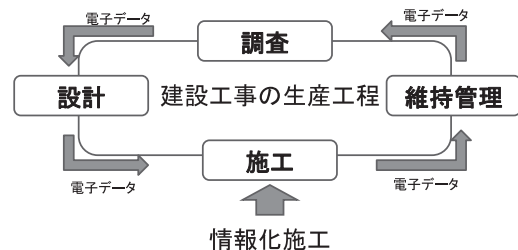


図-1 情報化施工の位置づけ

建設工事の各工程で利用される電子データをシームレスに活用することにより、施工全体の管理の効率化や、品質の向上を目指すものである。

情報化施工により、現場の丁張り等の計測作業が大幅に削減されるとともに施工自体も速く効率的になるため、工期短縮が期待できる。その結果、CO₂排出量や騒音などの環境負荷低減が見込める。また、測量作業や出来形確認のための補助作業員も削減できるため、工事現場の安全性向上にも寄与することができる。

情報化施工システムは、欧米では'03年頃から急速に普及し始めているが、日本では2008年2月25日に産学官それぞれの分野の有識者による「情報化施工推進会議」（事務局：国土交通省総合政策局建設施工企画課）が設置され、同年7月31日に「情報化施工推進戦略」が策定されて、本格的な普及方針がまとめられた。「情報化施工推進戦略」においては、

- ①情報化施工を標準的な工法として位置付ける
- ②機器・システムの普及
- ③人材育成

が普及方針の3つの柱として決定され、それぞれに普及活動が進められているところである。

その活動の実績として、国土交通省のHPによると平成22年度情報化施工対象工事はH23年6月30日現在で289件になった。また、人材育成のために日本建設機械化協会の施工技術総合研究所において、情報化施工研修会が開催されており、2008年7月～2011年7月の間で実務コースが24回実施され、410名の受講者を数えている。

3. 情報化施工システム

(1) システム概要

情報化施工システムは一般的に、その制御形態により、マシンコントロール (MC)、マシンガイダンス (MG) などと呼ばれている。3次元CADにより作成した設計データに基づき、ブルドーザやモータグレーダのブレードと呼ばれる作業機を自動制御して、施工の品質と効率向上を図るものがマシンコントロール、油圧ショベルのバケット刃先をモニタ表示装置に表示し、設計データによる作業面をガイドすることで、オペレータの操作負担を低減するものがマシンガイダンスである。

まずは、ブルドーザへの搭載を例に取って、マシンコントロールシステムの概要を説明する。

マシンコントロールシステムは一般的に、図-2に示すように、作業機 (ブレード) の水平・垂直位置検出をする為のGNSSアンテナを、ポールを介して直接ブレードに装着し、ブレード背面には傾斜計を装着して、ブレードの傾きを検出している。

設計データは、3次元CADで作成したデータを、オペレータ席前方に設置したコントロールボックス

に、コンパクトフラッシュメモリなどを使用してインストールする。コントロールボックスは、カラー表示器と制御用装置が一体化されており、カラー表示器上には施行設計図面と建設機械の現状位置がリアルタイムで更新表示され、オペレータが常時作業状態を確認出来るようになっている。また一方で、コントロールボックスは、設計データとブレードの位置・姿勢をリアルタイムで計測・比較し、自動制御用のEPCバルブを駆動する事により、ブレードの自動制御を行う。

(2) その他のマシンコントロールシステム

高精度GNSSによる位置検出を活用した情報化施工システムを紹介したが、GNSSとその他のセンサを組み合わせ、より高精度実現をめざした、センサフュージョンによるマシンコントロールシステムが近年導入されてきている。

一つは、垂直方向の位置検出精度を向上する目的で、GNSSと回転レーザを組み合わせたシステムである。水平方向はGNSS位置検出を行うが、垂直方向はレーザによる位置検出を行い、GNSSのみの場合±30mm程度の精度であるものを、±10mm程度まで向上させることが出来る (図-3)。

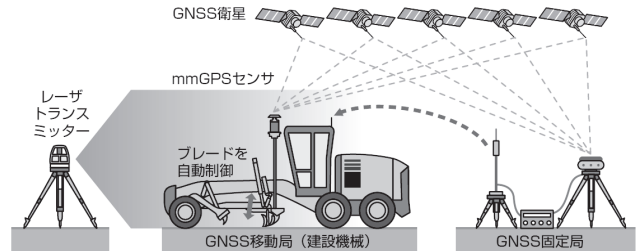


図-3 回転レーザとGNSSを併用したマシンコントロールシステム

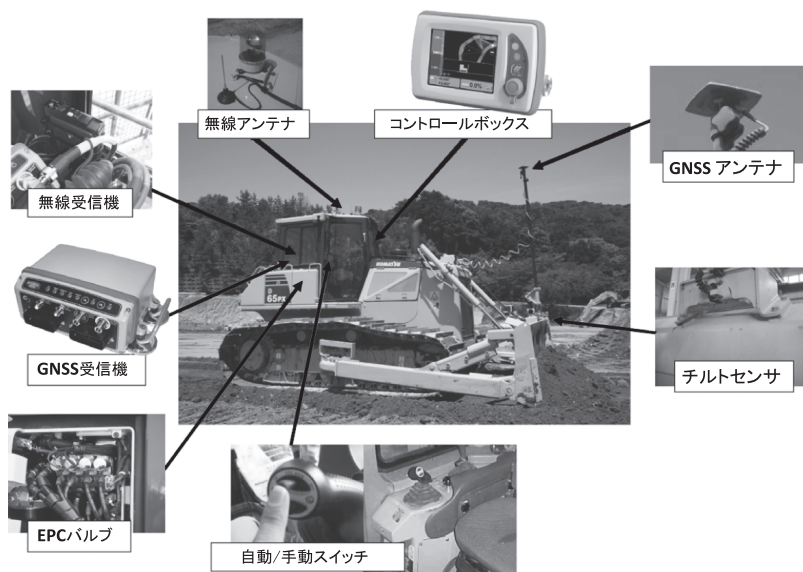


図-2 マシンコントロールシステム構成

また、位置検出をGNSSに頼らず、自動追尾型のトータルステーションを利用し、建設機械上に設置したプリズムを自動追尾することにより作業機的位置検出を行い、高精度な±10mm程度までの整地精度が得られる方式もある。このシステムは、GNSSのように衛星を利用しないので、屋外で天空が見える現場である必要が無いため、トンネル内や屋内などの施工現場の場合に適している（図-4）。



図-6 3D-MC²の整地性確認状況

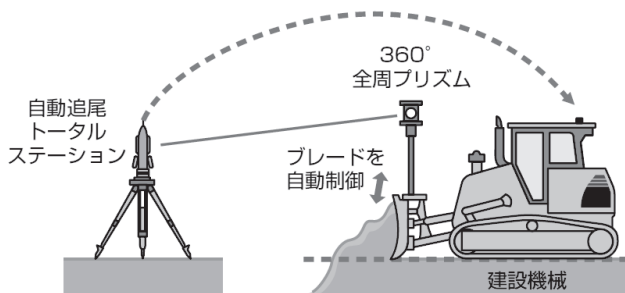


図-4 トータルステーションを利用したマシンコントロールシステム

さらに、通常10～20Hz程度であるGNSS位置検出更新間隔を、チルトセンサの代わりにジャイロと組み合わせることによりGNSS計測間の位置情報を補完し、位置検出速度を100Hz程度まで改善するシステムがある(3D-MC²(スリーディーエムシースクエア)システム)。位置検出能力が高速化されることにより、土質と車両特性にもよるが、従来F1速度であった限界施工速度をF3速度まで高速化することが可能となる。

図-5, 6は、8tクラスのストレートチルトドーザ車両で、F3の高速走行テストを実施した場合の結果である。現場の土質は砂質土、F3の高速走行時の条件でも、高低差±10mm程度のバラツキで高品質の整地性が確認されている。従来は、シフトがF3にもなると精度の高い施工は出来なかった。この結果は、20tクラスのブルドーザについても同様の結果が得られている。

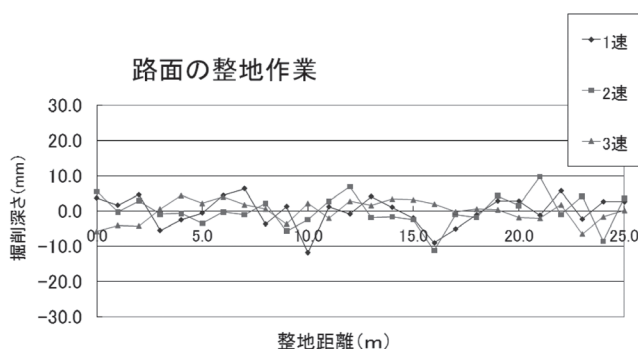


図-5 3D-MC²の整地精度(8tクラス)

(3) 従来施工と情報化施工

従来、土木施工は下記手順で実施されている。

- ① 施工現場の測量の実施
- ② 測量に基づき土木設計図面を作成
- ③ 図面に基づき現場に作業目印の杭を設置
- ④ 目印の杭に基づき施工作業を実施
- ⑤ 施工が設計通りか検査を実施

通常、検査・作業の繰り返しや作業の進捗状況に合わせて杭の設置し直しが繰り返される事となるが、情報化施工システムを活用した場合は、設計データに基づき建設機械の作業機が自動制御されるので、目印の杭の設置が不要となる。整地精度が良くなるため、施工効率が向上することが期待される。

(4) 従来施工と情報化施工の比較テスト結果

従来施工と情報化施工の施工効率を比較するため、高速道路ランプウエイ形状を模した施工を行い、施工時間の比較と精度の確認を行った(情報化施工は、シングルGNSSのマシンコントロールシステム)。

テスト施工設計図と仕上がり形状を図-7に示す。横幅8m、0m～20mの区間では縦横断勾配は共に0%、20m～50mの区間では縦断勾配は8%一定、横断勾配は0%～9%まで連続的に変化する設計となっている。施工機械は20tクラスブルドーザである。

情報化施工テスト後の仕上げ面を光学レベル測量により計測した結果を次に示す。

図-8に見られるように、発進時から6m程度(約1車長分)は仕上げ精度に乱れが在り、本施工方法に於いては、1車長程度の助走区間を設ける事が有効で有ることが判る。また本来の道路形状では有り得ない設定であるが、水平面から8%の上り勾配への屈曲部に於いても精度が乱れる事無く、2車長以内に静定している事が判る。

また、施工時間に関して、従来施工と情報化施工と

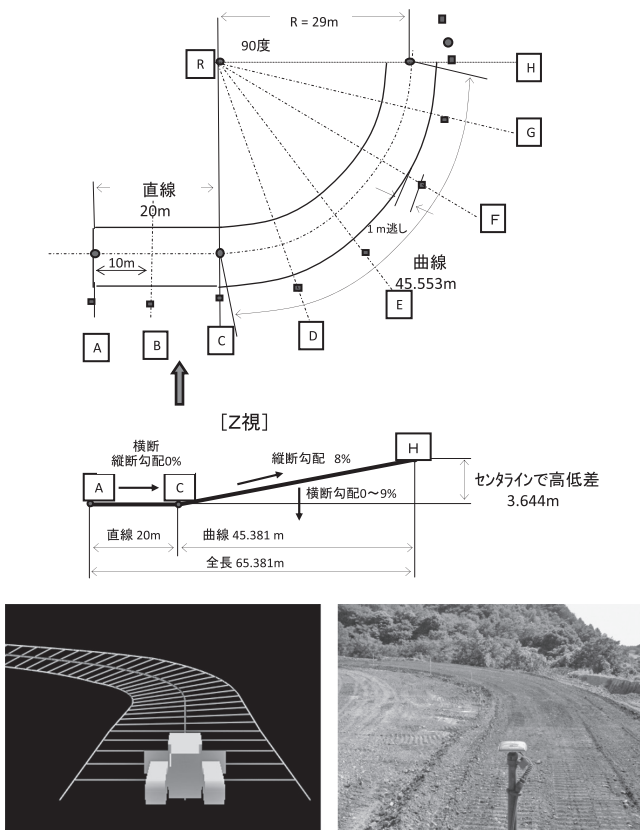


図-7 テスト施工図面と仕上がり形状

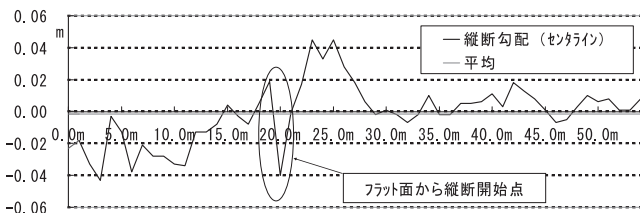


図-8 縦断面での精度

表-1 従来施工と情報化施工の施工時間比較

項目	自動	手動
人数、丁張り時間 (h)、丁張り本数	0	3人 2h 12本
ブルドーザー作業時間 (h)	3.63	4.32
参考：施工時間 (h)	3.63	6.32

注) 設計や施工データ作成時間は含んでいません。
 テスト施工での結果であり、実際の施工とは異なります。 **43%短縮**

の施工時間は表-1の結果となり、情報化施工は従来施工に対し、丁張りで100%、施工で16%短縮し、丁張り・施工時間を含めた全行程では情報化施工のほうが43%短縮している結果となった。

4. 情報化施工のメリットと課題

(1) 情報化施工のメリット

以上のテスト結果とあわせて、情報化施工のメリットは下記のようなことが考えられる。

- ①目印の杭が不要であり、かつブルドーザやグレーダ

の機械の作業効率向上が見込めるため、4割以上の工期短縮が望める。

- ②杭の打ち直し作業や仕上げ面確認の為に再測量作業など、稼働中の機械近傍での作業が不要となり、施工現場の安全性が向上する。
- ③ブルドーザやグレーダの機械の作業効率率が2~3割向上する為、燃料の節約が可能であり、これにより二酸化炭素排出量の削減も可能となる。
- ④複雑な施工を精度良く行う事が可能であり、オペレータの疲労や苦渋作業の低減が可能である。

(2) 情報化施工の問題点

上記のようなメリットがある一方で、現状では以下の点のような問題点があると考えられる。

- ①高層ビル郡の谷間や、山間部、露天掘り高山の深低部など、上空視界が制限されGNSS衛星の捕捉が困難な現場では使用が困難である。
- ②高精度GNSS位置検出に必要な補正信号が、携帯電話網配信では山間僻地などの工事現場では受信出来ない場合がある。
- ③公共の補正信号配信として、国土地理院が設置済みの1200箇所のGNSS基地局補正配信があるが、使用費用が高額である。
- ④3次元CADによる設計データが必ず必要であり、紙ベースや2次元データによる設計データによる受注時はその変換に手間がかかる。特に日本では発注時から3次元設計であることは少なく、効率が悪い。

5. 情報化施工システムの普及に向けて

(1) 情報化施工機器取り付け時の課題と対応

情報化施工システムは、通常測量機器メーカーから提供される場合が多いが、建設機械に装着する場合には、建設機械に機器取り付けのための板金加工や溶接加工を施す必要があった。その結果、取付工数は数十時間かかることもあり、改善要望の大きい問題点であった。

情報化施工推進戦略にもあるように、情報化施工機器・システムの普及に向けて、建設機械メーカーは、情報化施工システムの機器をより簡単に装着できるような対応を進めている。具体的には、あらかじめ情報化施工機器用のブラケットを取り付けておいたり、配線用穴を空けておくなどして、板金・溶接加工なしに装着できるような工夫をし、十数時間程度で装着できるようにした。現在は建機メーカーの多くの機種で、そのような機種がラインナップされている。



図-9 プラグアンドプレイ対応建機の例

(2) プラグアンドプレイ対応

今後は、さらなる普及に向け、予め情報化施工機器用のハーネスや配管、バルブ、ブラケット等をあらかじめ車両に装着しておき、後から容易に取り付けできるディスプレイやGSNN受信機、GNSSアンテナ等のみを装着する仕組みの開発を進めている（図-9）。

この仕組みは、我々がプラグアンドプレイと呼んでいるもので、情報化施工システムに必要であり、取り付けに工数が掛かるものは予め工場に取り付けて車両と一体にしておき、後から簡単に装着できる情報化施工機器のみ、必要時に取り付けるようにした車両である。このプラグアンドプレイの実現により、機器の装着工数は数時間になる。今後は、情報化施工の普及拡大に従い、このプラグアンドプレイ対応建機のラインナップが増えていくと考えている。

6. おわりに

欧米に後れをとっているといわれている情報化施工であるが、国土交通省の情報化施工推進戦略のもと、日本でも活用事例が増えてきている。建設機械メーカーとして、機器・システムの普及に貢献するため、プラグアンドプレイ対応車の開発を推進していくとともに、油圧ショベルのマシンガイダンスについてもさらなる機能向上を目指して開発を進めていきたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) 神田俊彦, 「建設機械へのGNSS応用」, GPS/GNSSシンポジウム2010論文集, 151p ~ 154p, 2010/11/4発行
- 2) 神田俊彦, 村本英一, 土井下健治, 「建設機械へのICT応用」, コマツ技報 Vol.56 No.163, 2p ~ 6p, 2011/2/12発行

【筆者紹介】



土井下 健治（どいした けんじ）
 コマツ
 開発本部 商品企画室 ICTグループ
 主査



村本 英一（むらもと えいいち）
 コマツ
 開発本部 商品企画室 ICTグループ
 主幹技師



神田 俊彦（こうだ としひこ）
 コマツ
 開発本部 商品企画室 ICTグループ
 プロダクトマネージャ