



情報化
施工
特集

情報化施工に対応する建設・鉱山機械とそのサポートシステム

神田 俊彦

露天掘り鉱山で高精度 GPS 装備の重機や諸施設と管理事務所を無線 LAN によるネットワークで結び、3D-CAD で作成した鉱石分布図と採掘計画を重機のモニタに表示し掘削作業をガイドし、掘削作業により変化した地形を検出、リアルタイムで出来型と採鉱を管理するシステムにより 10~20% 生産性が向上した。

また、土木工事用のブルドーザとグレーダに高精度 GPS を搭載しブレードを電子制御化、3次元施工計画データに基づきブレード位置を自動制御するシステムについて、構成や仕上がり精度、作業効率、従来工法との比較等のテスト結果、施工コストの削減と大幅な施工時間の短縮が可能であることを確認出来た。

キーワード：IT 施工、情報化施工、高精度 GPS、無線 LAN、リアルタイム

1. はじめに

露天掘り鉱山や土木・建設分野における作業効率の向上や品質の向上、省力化は何時の時代においても追求されて来たが、近年の情報化技術の急速な発展に伴い、いわゆる IT 施工や情報化施工と言った技術の適用が進んできている。

前半では、大規模な露天掘り鉱山で活用されている、リアルタイム生産管理システムを紹介し、後半では、土木建設工事で急速に採用が進んでいる高精度 GPS による情報化施工システムを紹介する。

2. 鉱山向けリアルタイム管理システムの紹介

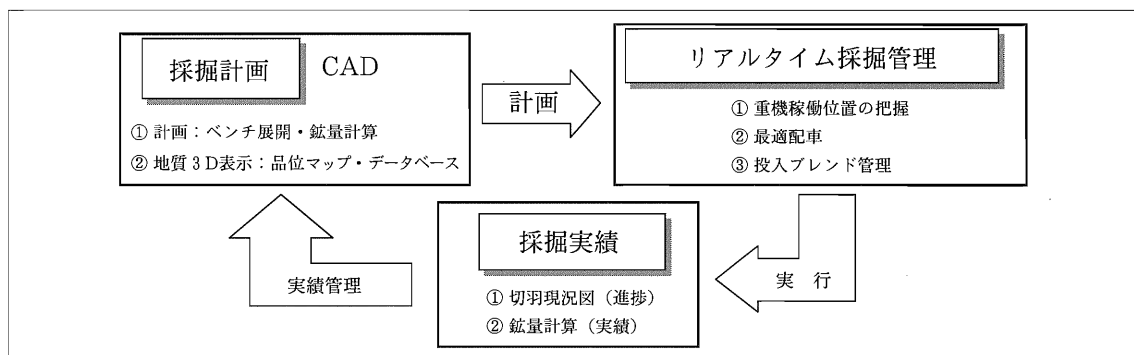
米国や豪州・アフリカの先進的な大規模な露天掘り鉱山で採用の進む生産管理システムを紹介する。

紹介する生産管理システム DISPATCH® はコマツの子会社である Modular Mining Systems 社の開発製品で、20 年程前のダンプトラック配車管理から始まり、15 年程前にディファレンシャル GPS に対応し位置検出精度は 1m、8 年程前に高精度 GPS (RTK-GPS) に対応しブルドーザ、積込み機、穿孔機のガイダンス機能が追加され当時は 10~20 cm の位置検出精度、現在は 2~3 cm と年々精度と計算速度が向上して来ている。

最新の IT 技術の折込みとたゆまぬ機能向上により、GPS-Based DISPATCH® としてグローバルスタンダードなシステムとなりつつある。

(1) システム概要

露天掘り鉱山において、積込み機の掘削ガイダンスやブルドーザ作業のガイダンス、リアルタイムでの出来形把握、ダンプトラックの配車管理を行い、**図一1**



図一1 鉱山のリアルタイム生産管理システム、GPS-Based DISPATCH® の概念図

に示すように、3次元CADに基づく採掘計画から原石生産管理まで一貫して管理し生産性向上を図っている。

管理事務所と鉱山内の諸施設、それぞれの重機間は、無線LANで双方向に結ばれており、採掘計画に基づき鉱山内で稼働する大型の積込み機やダンプトラック、さらに穿孔機や補助機械の位置を高精度GPS計測によりリアルタイムで監視し、作業指示を行う。

ベンチ展開時のブルドーザ作業では計測が不要になり、計画レベル出しが容易となる。積込み機では掘削位置や掘削量の計測が不要で、鉱石が無駄なく掘削可能となっている。また、穿孔機でも位置出しの計測が不要で位置決め時間が短縮出来ている。これらに加えてダンプトラックの最適配車管理により、鉱石の投入ブレンドの指示を行うことで品位管理を行っている。

採掘の結果変化する切羽の進捗状況や地質の見直しデータは、採掘実績として採掘計画に時々刻々リアルタイムにフィードバックし採掘計画から原石生産までの一貫した管理をIT技術により実施するものである。

(2) 主な機能と特長

(a) リアルタイム重機モニタリングと最適配車による重機の稼働率・生産性の向上(図-2)

積込み切羽からクラッシャや土捨場までの路上の各ダンプトラックの走行位置を高精度GPSで検出し、メインアンテナを介して管理事務所に送信する。管理事務所では各ダンプトラックや積込み機に待機などの無駄時間が発生しないよう最適作業配車を計算し、チェックポイントにきた時、無線により行先指示を自動送信する。また故障車の発生や走路の障害などの現場状況に応じて行先指示や作業指示の修正を行うようになっている。

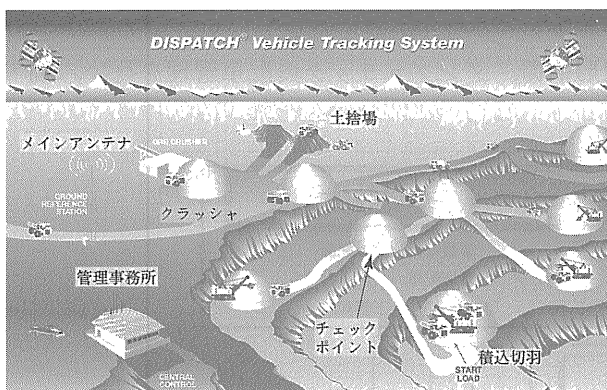


図-2 システム全体図 (GPS・無線通信)

(b) リアルタイム原石ブレンドによる投入品位管理 要望にあった品位が安定して得られるように、品位

の異なる切羽から立坑へ運搬するダンプトラックの配車をリアルタイムで指示することで、立坑に投入する原石をブレンドし、木目細かい品位の確保が可能となっている。

(c) 監視車による現場の管理

現場を巡回する監視車にも図-3のような車載表示機を搭載し管理事務所同様に現場全体の稼働状況がわかるので、現場主任は管理事務所と連携して、適正な作業指示を出すことができる。

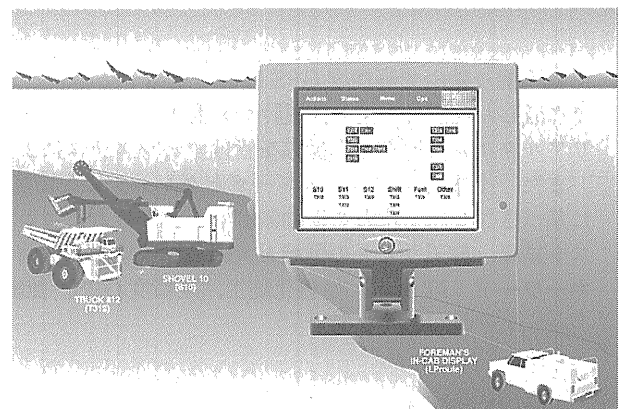


図-3 現場主任専用インタフェース (mobile supervisory interface)

(d) 高精度GPSによる動的出来形管理や穿孔管理

高精度GPSの測位により、積込み機のバケット位置をリアルタイムで測量して掘削ブロックの進み具合を地山の出来高管理に反映させ、ドリルの穿孔位置への正確な誘導が可能となり、高精度で効率の良い作業が可能となっている。

(3) システムの構成

(a) 積込み機やダンプトラックの車載機器

積込み機、ダンプトラックの位置や作業内容をリア

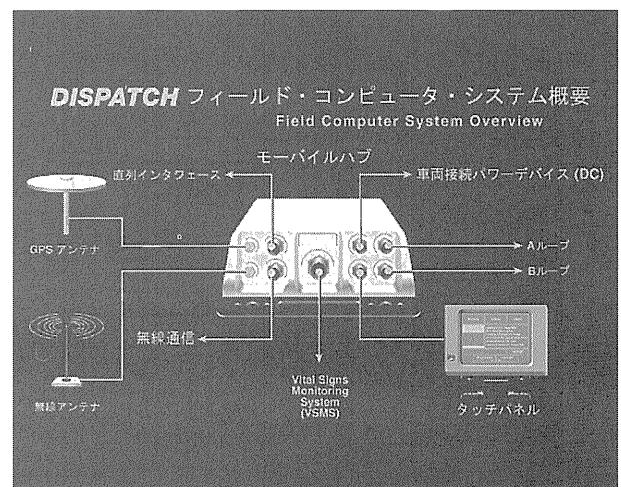


図-4 車載システム構成図

リアルタイムにモニタリングするために、各重機には図—4に示すモバイルハブと呼ばれるコンピュータが搭載されている。このハブには車載機のデータ処理のためのすべての機能が集約されており、タッチパネルとGPSアンテナや無線アンテナ、さらに必要に応じて積載量などのデジタルデータやアナログ信号も取込み、管理する仕組みになっている。

(b) 地上設備

管理室内には、無線設備やリアルタイム管理用ワークステーションおよび各種の鉱山管理ソフトが動作するサーバを設置している。また、現場内の見通しの良い場所にリピータアンテナが設置され、管理室と積み機やダンプとの無線通信を行うようになっている。

(c) ソフトウェア

主要なソフトウェアパッケージは次のとおりである。

- ・ 積み機、ダンプトラックの最適配車管理/ブレンド管理パッケージ
- ・ 積み機及びドリルの高精度位置管理パッケージ
- ・ 稼働実績データベースの構築による各種レポートの出力パッケージ

(4) 海外での導入事例

世界では北米・南米、豪州・東南アジア・中国、アフリカなど120を超える鉱山に導入されており、現場管理の簡素化と現場管理者が大幅に削減され、採掘計画から原石生産管理まで一貫したITシステムの採用により、10~20%生産性が向上している。最近では、こうしたシステムは超大型鉱山だけでなく、中規模鉱山にも普及してきている。

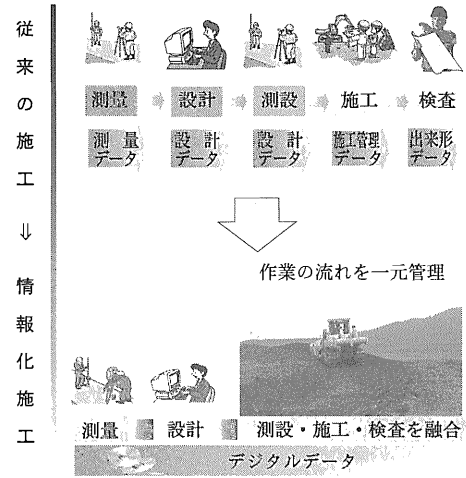
3. 土木建設向け情報化施工システムの紹介

近年の情報化技術の飛躍的な発達や、国土交通省の「電子国土」構想に基づく国土地理院によるGPS測位の電子基準点データの公開、電子入札、電子納品など、建設土木分野での情報化技術の適用が進んできている。

一方、土木施工現場における自動化、省力化の一分野として、レベル出しに使用される回転レーザを使用した建設機械の作業機自動制御システムなどがあるが、施工データ管理という概念はなく、測量、設計、施工、検査はその工程毎にデータの作成や次工程のための作り直しなどが必要であった。

今般、情報化技術の進展により可能となった、施工設計と検収図面の3D-CAD化や、RTK-GPSによるリアルタイム測量技術、建設機械の自動制御技術の融

合により、測量、設計、施工、検査までを電子情報で一貫して管理出来る、高精度GPSを使用したブレード自動制御情報化施工システム（以下、GPSオートブレードシステム）を、コマツと株式会社トプコンと協同で開発したので紹介する（図—5）。

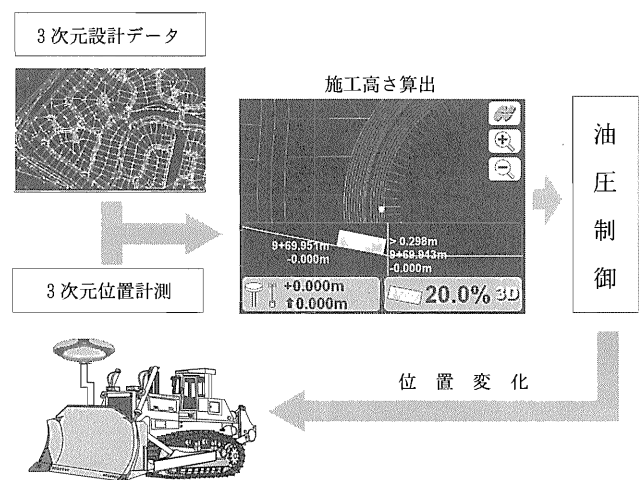


図—5 従来施工と情報化施工

(1) システムの概要

GPS オートブレードシステムは、いわば施工設計図通りに仕上げるNCマシンである。3次元CADで作成したデジタル設計データと、RTK-GPSで測量する建設機械の位置情報とを照合比較し、現地盤からの施工高さを算出、算出された施工高さから、ブレードを自動制御するものである（図—6、図—7）。

ブレードの位置・姿勢検出には、GPS（Global Positioning System）と傾斜センサを使用している。GPSでの位置検出には米国が運用しているNAVSTAR衛星を利用するが、本システムはこれに加えてロシアが運用しているGLONASS衛星を併用



図—6 システム動作概要

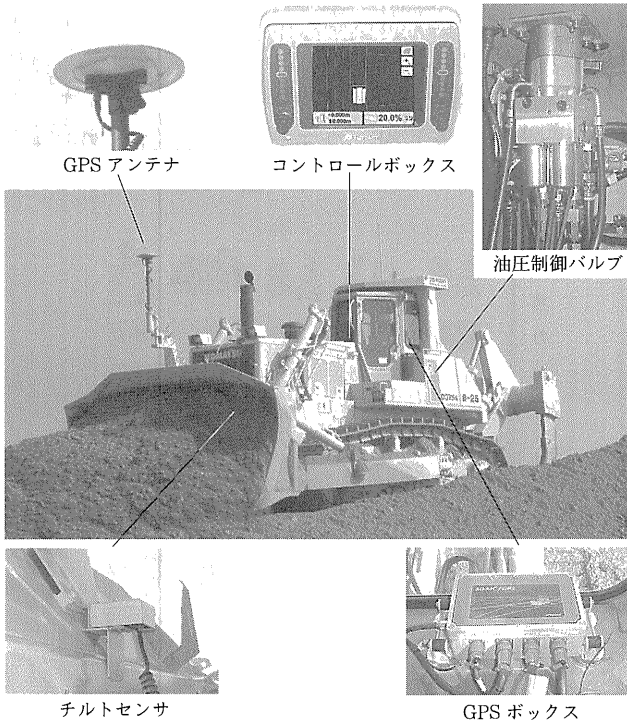


図-7 GPS オートブレードシステム

できるので衛星の捕捉率が高くなり、高精度の RTK-GPS 計測によるブレード位置検出が可能なシステムとなっている。

GPS アンテナはアンテナ直下がブレード刃先の中心位置となるように装着設計されており、傾斜計は土石から保護するために、ブレード背面に装着している。

施工設計データは、TIN（不定形三角網）形式で 3次元 CAD を使用して作成し、オペレータ席前方に設置したカラー表示器と制御ユニットの一体型のコントロールボックスにインストールする。施工設計データのインストールは、デジタルカメラなどにも使用されているコンパクトフラッシュメモリを使用しており、特殊な機器などは不要である。

コントロールボックスのカラー表示器には、施工設計図面上に建設機械の現状位置をリアルタイムで更新表示し、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。

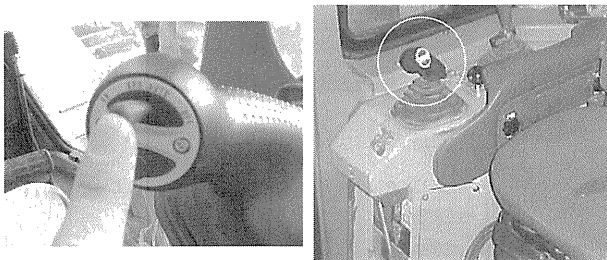


図-8 自動/手動の切替えスイッチ

また、一方でコントロールボックスは、施工設計データとブレードの位置・姿勢をリアルタイムで比較し、手動用と自動制御用一体型のコンパクトなバルブを駆動する事により、ブレード制御を行っている。

自動/手動の切替えは、ブレード操作レバー上に設けた切替えスイッチで行うので、レバーから手を離さずに手動/自動の切替えが常時可能である（図-8）。

(2) システムの特徴

高精度 GPS (RTK-GPS) により現況地形をリアルタイムに測定し、3次元 CAD で作成した施工設計データと比較しながらブレードを自動制御する事により、トータルでの施工コストの削減と大幅な工期の短縮を狙ったシステムである。

従来必要であった丁張りや、施工作业中の測量とそれに伴う修正施工作业をも不要とし、費用と工期が削減出来る。また、同時に建設機械の傍での測量と丁張り作業も無くなるため安全性が向上する。

高品質・高精度のブレード制御を実現し、施工設計データを制御に直接使用するため、仕上げ精度が向上すると共に複雑な形状でも誰でも容易に施工可能とした。

(3) テスト施工結果

テストは主に、整地精度の確認と施工時間の手動と自動の比較について行ったので報告する。

(a) 平面整地の精度の確認結果 (図-9)

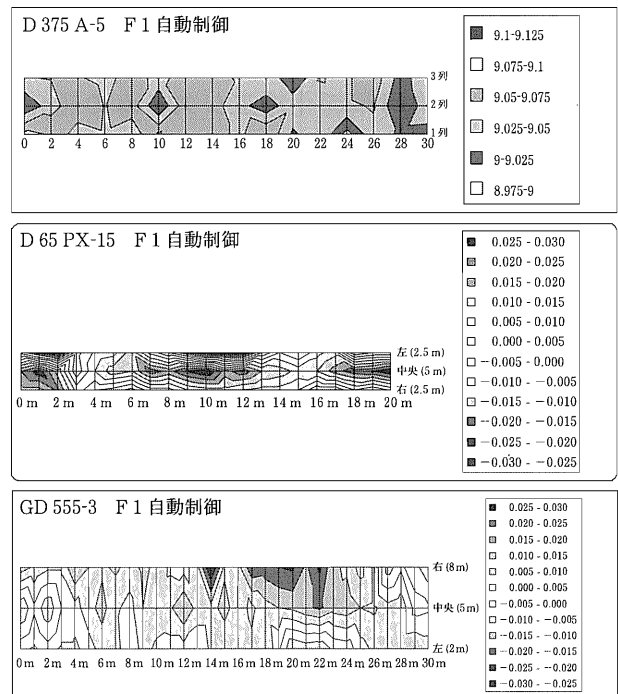


図-9 整地精度テスト結果

整地精度の確認は、10 m×30 m の水平面を GPS オートブレード施工にて仕上げ、仕上げ面を光学レベル測量により計測し精度を確認した。

大型のブルドーザ D 375 の結果は、±5 cm の範囲に入っており、中型のブルドーザ D 65 は±30 mm、モータグレーダ GD 555 では+10～-26 mm という結果となった。整地精度の差はそれぞれの機種特性と RTK-GPS 測量誤差に依存したものと考える。

施工管理基準にもよるが、D 375 は下層路盤整地に、D 65 と GD 555 は上層路盤整地に使用可能と考える (RTK-GPS の測量精度誤差は±20 mm 程度である)。

(b) 情報化施工と従来施工での施工時間比較と精度の確認 (その1)

テストは、図-10 に示すような縦断勾配と横断勾配が連続して変化する、高速道路ランプウェイ形状を模して行い、GPS オートブレード施工と従来施工で施工に掛かった時間を比較した (表-1)。

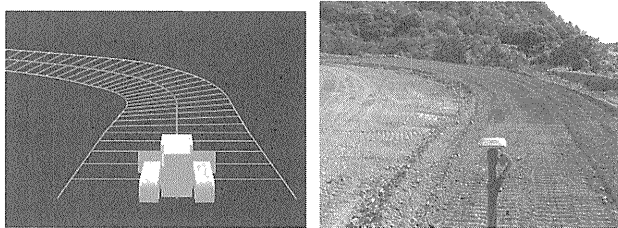


図-10 施工図面と仕上がり形状

表-1 ランプウェイ形状施工 (自動 vs. 手動)

項目	丁張り, 施工時間		テスト結果	
	自動	手動	自動	手動
人数, 丁張り時間 (h), 丁張り本数	0	3人 2h 12本		
ブルドーザ作業時間 (h)	3.63	4.32		
参考: 施工時間 (h)	3.63	6.32		

自動は手動に対し、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自動は手動に対し 43% 短縮している結果となった。

図-11, 図-12, 図-13 に、GPS オートブレード施工後の仕上げ面を光学レベル測量により計測した結果を示す。

(c) 情報化施工と従来施工での施工時間比較と精度の確認 (その2)

株式会社間組が、関西国際空港株式会社、関西国際空港用地造成株式会社の了承のもとに、関西空港 2 期空港島建設現場内で実施した GPS オートブレードの試験施工結果について報告する。

約 10% 勾配の堤状の地形を切盛りし、水捌け勾配

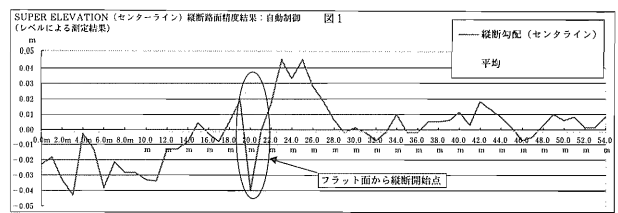


図-11 センターライン縦断面での精度

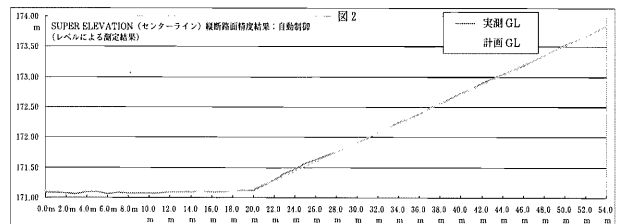


図-12 センターライン縦断面形状

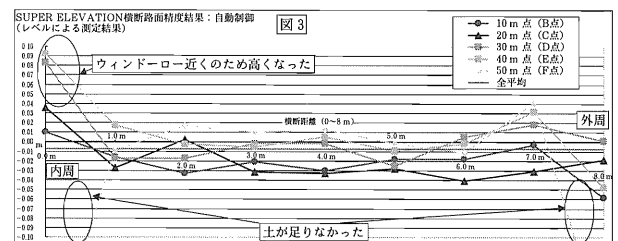


図-13 横断面での精度

1% の 200 m×50 m 平面に仕上げるテスト施工を行った (図-14)。比較のため、工区を 2 つに分け、A 工区は従来施工、B 工区は GPS オートブレード施工し、それぞれの精度、施工に要した時間と人工数を計測し比較した。

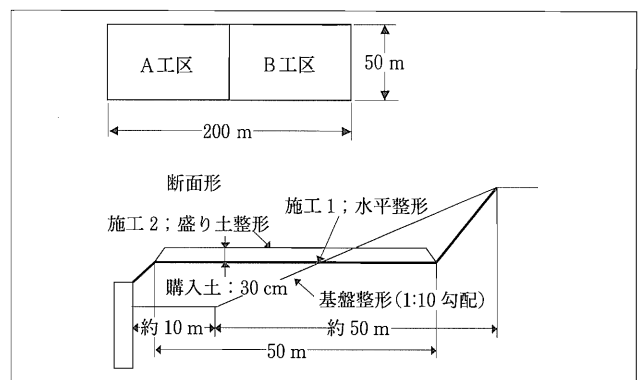


図-14 テスト施工内容

各施工後地形を 10 m メッシュで光学測量し設計面との誤差を等高線で表した物を図-15 に示す。±5 cm の誤差範囲で面積比較すると従来工法の 59% に対し 77% と精度が向上している結果となった。

10 m メッシュ計測での各点の誤差分布を従来施工と GPS オートブレード施工で比較した物を図-16 に

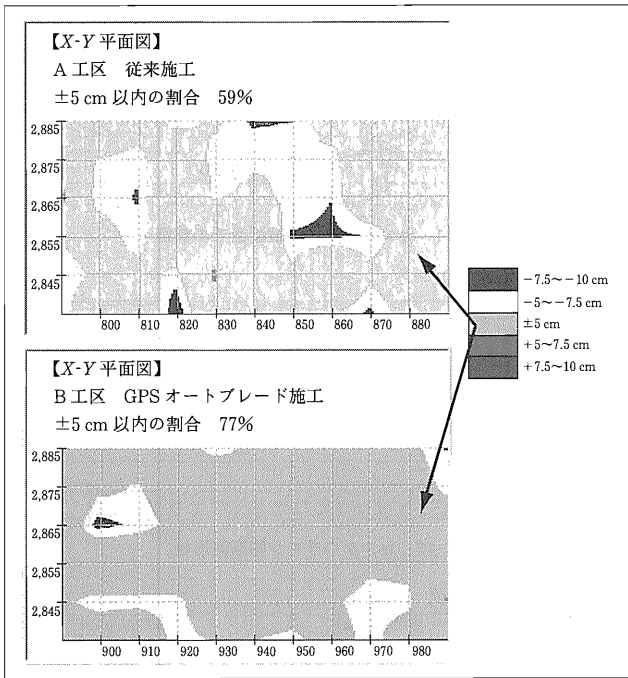


図-15 A・B工区の施工後地形

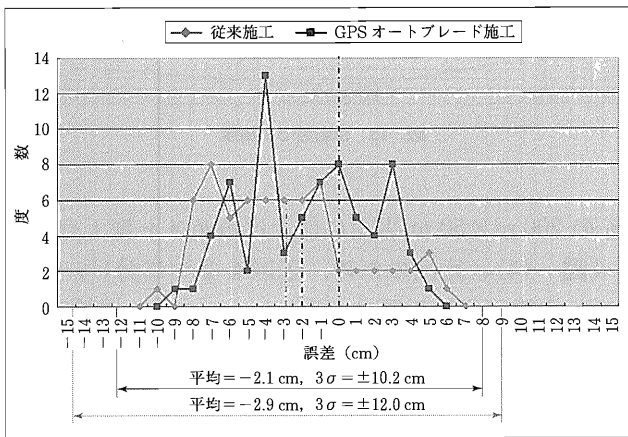


図-16 誤差分布の比較

示す。標準偏差計算し3σ値では、従来施工の12cmに対し、情報化施工では10cmという結果となった。

また、それぞれの工区の施行時間を計測した結果を図-17に示す。従来施工に対して情報化施工では施工時間を約50%短縮する結果となった。

丁張りは不要となり、測量作業も含めて6時間の節

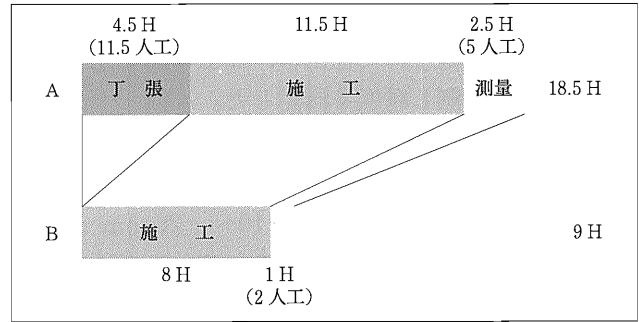


図-17 施工時間の比較

約ができ、1%横断勾配フラット基盤成形時間も2.5時間の節約となった。

4. おわりに

今回開発したGPSオートブレードシステムを導入する事により、丁張りが不要となり、施工精度が向上、施工時間の削減が可能であることが確認出来た。

また、工事期間の短縮による生産性の向上と建設機械の稼働率の向上は、CO₂排出量の削減につながり環境にも優しいシステムであると考えている。

関西空港2期空港島でのテスト施工にあたり、関西国際空港株式会社、関西国際空港用地造成株式会社、西松建設株式会社JV及び株式会社間組の多大なるご支援とご協力を頂きました事に深く感謝いたします。

今後は、得られた成果を元に、施工時の車速向上や精度の向上など、更なる技術の向上に努めると共に、市場導入に向けて準備を進めてゆく所存です。

JCMA



[筆者紹介]
 神田 俊彦 (こうだ としひこ)
 株式会社小松製作所
 開発本部商品企画室
 ITグループ
 主査