

情報化施工支援機器「AccuGrade」の活用事例

河 埜 修 次・松 村 秀 雄・山 本 茂 太

最近の建設機械を取り巻く環境を見ると、地球温暖化に伴う CO₂ 削減化対応として、排出ガス規制適合／低燃費型建設機械の開発、高齢化、熟練オペレータ不足対応として、操作性／安全性の向上、機械管理／施工管理の効率化を可能とする、IT (Information Technology) 製品の開発等が重要となっている。米国キャタピラー社はこれらニーズに対応すべく、建設機械本体の開発はもとより IT 製品の開発にも積極的に取組み、2002 年に測量機器メーカーの米国トリンプル社と合弁企業・CTCT (Caterpillar Trimble Control Technologies) を設立し、レーザー／超音波／GPS／トータルステーションを利用して、ブルドーザやモータグレーダ等の作業装置をより高い精度でコントロールする「AccuGrade」(和名：アキュグレド) システムを開発し、情報化施工への対応を図っている。今回はこの「AccuGrade」システムの特徴、施工および精度検証実験事例、今後の課題などを紹介する。

キーワード：情報化施工，IT 施工，自動施工，GPS，レーザー，トータルステーション

1. 「AccuGrade」システムの特徴

(1) システムの概要

キャタピラー社で導入済みの「AccuGrade」システムラインアップを表-1 に示すが、一部日本へ未導入のものもある。5 種類のシステムの中から、機種、使用目的に応じて選択することができ、GPS および ATS は 3D 対応型である。

(2) ARO (AccuGrade Ready Option) 仕様

装着する車両には、作業装置を自動でコントロールする「ARO (AccuGrade Ready Option) 仕様」を予め新車アタッチメントとして装着し、パワーモジュール

ル、油圧バルブモジュール、ハーネス配線といった車輛内部に組み込む必要のある部品を、工場生産時にラインで装着して出荷する。これにより、現場での装着作業が最小となり、ユーザにとって追加コストとなる装着費用と時間を短縮できる。また、油圧ラインに対する粉塵などの汚染の侵入、ハーネス配線の誤結合などを防止することができるため、システムの信頼性も大幅に向上する。

(3) デュアル GPS デザイン

デュアル GPS デザインとは、ブレードの両端に GPS アンテナレシーバを装着することである。ブルドーザの掘削や押土作業の際、基点とするのは排土板

表-1 「AccuGrade」システム一覧

	Laser	GPS	Sonic	ATS (トータルステーション)	Cross Slope アングルセンサー ロータリセンサー
精度の目安	± 5 mm	± 30 mm	8 mm	± 5 ~ 10 mm	0.1° 又は 5 ~ 8 mm
モータグレーダ	○	○	○	○	○
中・小型ブルドーザ	○	○			
大型ブルドーザ		○			
油圧ショベル	△	△			

(ブレード)の両端であるが、デュアルGPSデザインではGPSアンテナレシーバをこの両端直上に位置させることになり、あらゆる作業条件で精度の高い作業を可能とする。もし、GPSアンテナを両端ではなく中央部に位置した場合、排土板の両端部の位置を計測するには、他のセンサーの情報も組み合わせて予測演算することになり、誤差の大きな要因となる。また、デュアルGPSシステムではGPSアンテナレシーバ同士が離れているので、車輛の進行方向や姿勢の計測に対しても高い精度を確保できる利点がある。

(4) シンプルなシステム

システムの信頼性と装着の容易性を両立させるため、「AccuGrade」は非常にシンプルなシステム構成となっている。構成されるコンポーネントは図-1の通りである。運転席内部に装着されるコンポーネントはコントロールボックスとライトバーのみであり、インストール作業も簡単で、オペレータの視界も最大限確保される。また、各コンポーネントはCAN (Controller Area Network) ハーネスを用いて直列に結合されているので、配線の結合作業も最小限となっている。

(5) システムの拡張性

前述の通り、全てのコンポーネントはCANハーネスによって結合されているため、導入済みのシステムをアップグレード (例えばレーザーシステムからGPSシステムへ) することが容易となっている。この場合、車輛内部の改造を伴わず、車輛外部のセンサー、コントローラを交換するのみでアップグレードできる。



GPS アンテナレシーバ



コントロールボックス



ブルドーザにインストールされた状況

図-1 「AccuGrade」システムコンポーネント (GPS システムの例)

(6) 信頼性の高い堅牢なコンポーネント

「AccuGrade」のコンポーネントは、前述の通りキャタピラー社とトリンブル社の合弁企業CTCTによってデザインされているが、耐久性のテストはキャタピラー社の建設機械の開発テストに準じて実施されており、高い耐振動、耐環境性能を有している。

2. 海外における事例

(1) 海外の市場動向

日本においては未だ普及途上のGPSマシンコントロールシステムであるが、海外では欧米を中心に普及が進み、建設機械の販売台数に対する装着率が向上している。先にドイツで開催されたBAUMA2007においても、測量機器メーカー各社はもとより建機メーカーも意欲的にマシンコントロールシステムを装着した建設機械を出展していた (写真-1)。

キャタピラー社とトリンブル社の調査によると、欧州における販売車輛への装着率はモータグレーダで約70～90%、ブルドーザで約20～30%、油圧ショベ



写真-1 BAUMA2007の展示車輛

ルで約5%に達している。特に北欧諸国では、政策的に油圧ショベルへの導入を推し進めており、既に約8,000台へ装着され、その内約1,000台程度はGPSを活用したものであるという。全世界での装着率は、モータグレーダで約10%、ブルドーザで約5%、油圧ショベルで約1%程度である。また、市場規模を表す販売金額は約350億円とみられている。

ユーザへマシンコントロールシステム導入の利点についてアンケート調査したところ、以下のような回答であった。

- ・生産性向上 68%
- ・コスト低減 57%
- ・工期縮減 48%
- ・品質向上 23%
- ・疲労軽減 10%
- ・その他 10%

施工能力の向上など施工コストに直結する点に、メリットを感じていることが判る。

測量機器メーカ各社は、既に稼動している車輛に対する後付け可能なシステムの販売にも注力しているため、今後市場規模および建設機械に対する装着率は、共に確実に伸長すると思われる。

(2) 海外施工事例

(a) モータグレーダによる大規模駐車場造成工事

米国ジョージア州の物流会社が発注する大規模倉庫に付随したトラックターミナル造成工事。約60万m³の土量を動かし、20万m²の駐車場を造成する。GPSシステムを装着したCAT 12H (3.7m級) モータグレーダによって自動制御による整地を行った。その結果、全面において誤差約1.25cmで仕上げる事ができた。これは管理基準の1/3の精度であり、ほぼ全て一回のパスで作業を行っていた。

(b) ドバイ F1 サーキット建設工事

ドバイオートドロームはF1に認定されたレーシング・トラックであるが、その建設工事にはATSシステムを装着したCAT モータグレーダが使用された。工事着工前の施工許容値は、路床レベルで±25mmであったが、最終的にATSを装着したモータグレーダは±3mmで路床を仕上げ、通常10時間掛かる作業を4時間で終わらせたため、多くのコストを節減することができた(写真—2)。

(c) ゴルフ場およびリゾート地造成工事

ニュージーランドにおける18ホールのゴルフ場と250軒の別荘地を造成する工事にマシンコントロールシステムを装着した複数の建設機械を使用。その結果、



写真—2 ドバイにおける施工状況



写真—3 ニュージーランドにおける施工状況

測量費の85%および盛土材運搬費の35%を低減し、工期を6ヶ月短縮した(写真—3)。

3. 当社における施工精度検証実験

(1) 実験の概要

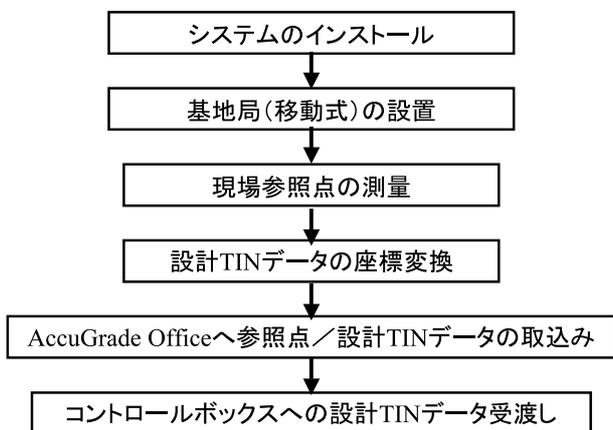
当社秩父デモンストレーションセンター(埼玉県秩父市)に所在する21t級ブルドーザD6RシリーズⅢに、GPSによるマシンコントロールシステム「AccuGrade GPS」を装着し、変化点の多い形状を持つ地形の施工精度を検証した。D6RシリーズⅢの基本的なスペックは表—2の通りである。

表—2 CAT D6R Ⅲ 湿地車 (LGP) のスペック

運転質量 kg	21,700
全長(全装備) mm	5,725
全幅(全装備) mm	4,065
全高(キャブ上端まで) mm	3,245
ブレード幅 mm	4,065
エンジン名称	CAT C9 ディーゼルエンジン [ACERT]
定格出力/回転数 kW(ps)/min ⁻¹ (rpm)	149 (203)/1,850
排気量 cc	8,800
接地長 mm	3,260
シュー幅 mm	1,000
接地圧 kPa (kgf/cm ²)	33 (0.33)
最低地上高 mm	450

(2) 施工前準備作業

実際に施工を行う前に必要な準備作業の流れは、図—2の通りである。以下に順を追って作業の内容を説明する。



図一 2 施工前準備作業の流れ

(a) システムのインストール

本機は ARO 仕様であるため、機体内部に組込む必要のあるパワーモジュールと油圧バルブモジュール、ハーネス配線は工場出荷時に既に取付けられている。よって、今回現地で装着したコンポーネントは GPS アンテナレシーバ、アンテナマスト、チルトセンサー、コントロールボックス、無線通信機といった外装品のみであり、数時間で装着が完了した。装着後は、自動で行われる油圧バルブのキャリブレーションを実施し、GPS アンテナレシーバと排土板の位置計測を行った後、計測した数値をコントロールボックスへ入力する。

本システムでは、上述の車輛へ装着するハードウェアの他に、三次元設計データをシステムへ取込むソフトウェア AccuGrade Office を PC へインストールする必要がある。本ソフトは様々な CAD データから TIN (Triangle Irregular Network) を取込み、断面図や 3D シミュレーション表示でデータをチェックし、AccuGrade システムへ TIN データを受け渡す機能を持つ。対応している CAD データとしては AutoCAD の DWG/DXF ファイルのほか、Micro Station の DGN ファイル、LandXML 形式などがある。

(b) 基地局の設置

基地局には簡易型である移動式のほか、固定式と中継型 VRS (Virtual Reference Station) 方式の 3 種類がある。固定式とは、三角点から計測して求めた正確な場所に GPS 受信機を固定設置する方式で、絶対座標でシステムを運用することが可能となる。同じく、自らは基地局を設置せず、VRS プロバイダから補正情報を購入して位置座標を求める中継型 VRS 方式も絶対座標での運用となる。今回は、仮の基準点に基地局を設置する移動式を用いたため、ローカル座標系でのテストとなった。

(c) 現場参照点の測量

上述の通り、今回は基地局を移動式としたため、システムのローカル座標系を現場のローカル座標系に一致させる必要がある。そこで参照点を 4 点設置し、システムと現場それぞれのローカル座標値を計測した。

(d) 設計 TIN データの座標変換

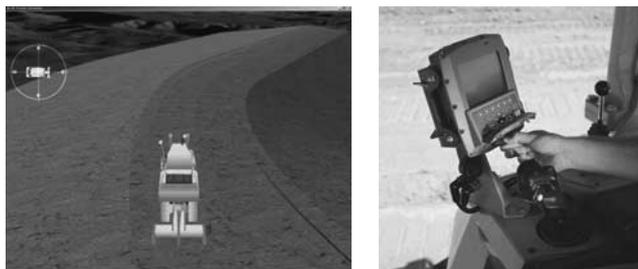
CAD を用いて、設計 TIN データを設計時に用いた座標系から現場ローカル座標系への変換を行う。もちろん設計時から現場ローカル座標系を用いた場合には、本作業は不要となる。

(e) AccuGrade Office へ参照点/設計 TIN データ取込み

AccuGrade Office にて、計測した 4 つの参照点を座標系変換用に設定し、設計 TIN データの取込みを行う。取込んだ TIN データは施工イメージを把握するために、3D シミュレーション表示機能で概略形状を確認しておく (図一 3)。

(f) コントロールボックスへ設計 TIN データ受渡し

最後に設計 TIN データをコントロールボックスへ受渡し、施工する設計データを選択して施工準備完了となる。データの受渡しは CF (Compact Flash) カードで行い、施工中はコントロールボックスに差し込んだままとなる (図一 3)。尚、海外では無線通信を利用し、リアルタイムで設計データの更新などが可能となっている。



図一 3 AccuGrade Office の画面と CF カードの挿入

(3) 施工精度検証実験

(a) 施工計画地形

インストール完了後、計画高と施工高の差異を確認するため、テスト施工を行った。施工形状は、直線部は水平、屈曲部に横断勾配のついた変化点の多い道路地形を用いた。施工後には、それぞれ約 100 点の確認測量を行った。図一 4 は、施工計画の上面図とアイソメ図である。外枠は現場ローカル座標の標高 0 m 水平面であり、三角形要素の集まりが設計 TIN データである。

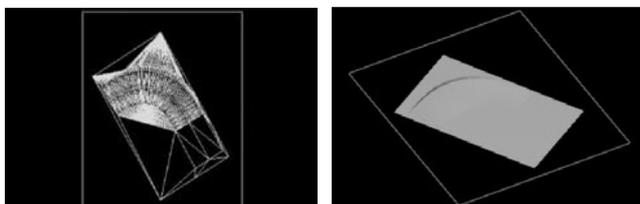


図-4 カーブ道路 (左:上面図, 右:アイソメ図)

(b) 施工精度

写真-4 は施工後の出来形写真であり、表-3 は施工計画における計画高と施工高の差異を統計処理した結果である。



写真-4 施工後出来形写真

表-3 計画高と施工高の差異 (m)

施工計画	平均	最頻値	標準偏差	最大差異
カーブ道路	-0.033	-0.025	0.037	0.144

テストを行った現場の地盤は、数日來の降雨により非常にゆるい状態であり、施工面はブルドーザのクローラの跡が残った状態であった。そのため、計画高に対し測量した施工高が平均 4 cm 程度低い値となった。一方、施工精度とみなすことができる標準偏差については、概ね 3.5 cm の値を示しており、土場の状態やオペレータが初トライであったことなどを鑑みれば、非常に良好な結果であったと考える。

4. 今後の課題

これまで紹介した通り、「AccuGrade」は全世界で広くユーザに受け入れられ、施工精度も非常に高いシステムである。メーカ純正アタッチメントとして高い信頼性も有するこのシステムを、一刻も早く国内市場に導入したいと当社は考えている。導入に際しては、通常建設機械と同様のアフターサービスを提供する必要がある、部品供給体制や社内教育などユーザに安心して使用してもらえ環境を現在整備中である。

現在の情報化施工においては、如何に施工形状を計画形状と差異なく仕上げるかが主題となっており、建設機械のマシンコントロールやガイダンス機能においても施工精度向上のための様々な開発が行われている。しかし、三次元で車輛の位置を把握できるシステムを活用することにより、現場内の安全に対して寄与できることも多いと考える。現在でも、測量に従事する作業員が現場内に立ち入る機会が減少することで、安全性が向上していると評価するユーザは多い。今後は、計画形状に従って受動的に車輛を誘導、自動施工させるだけでなく、作業禁止区域や制限高さに近づいた場合に自動停止するなど、積極的に車輛を制御するシステムも実現されるであろう。「AccuGrade」自身も進化を続けており、建設分野の一端に従事する者として、こうしたシステムを提供することで現場の施工効率向上と安全性の向上に貢献していきたいと考える。

最後になるが、「AccuGrade」導入においてご助力頂いている(株)ニコン・トリンプル社各位に厚く御礼申し上げます。 JICMA

[筆者紹介]

河埜 修次 (こうの しゅうじ)
新キャタピラー三菱(株)
販売企画部
商品企画グループアカウンティングマネージャー

松村 秀雄 (まつむら ひでお)
新キャタピラー三菱(株)
販売企画部
商品企画グループ主任

山本 茂太 (やまもと しげた)
新キャタピラー三菱(株)
直販部