

米国における情報化施工の動向調査報告

1. 米国調査の全体概要

森下博之

(1) はじめに

産学官のメンバーで構成する「情報化施工推進会議（委員長：建山和由 立命館大学教授）」において、情報化施工の本格的普及に向けた行動計画である「情報化施工推進戦略」が2008年7月に策定された。本戦略を契機に、情報化施工の導入に向けた取組みが産学官の各方面で具体的に進められている。その一環として、情報化施工の普及が近年急速に進んでいる米国の政府機関（発注者）や実際の施工現場、さらに関連メーカを訪問し、マシンコントロール技術（AMG：Automated Machine Guidance）や振動ローラの加速度応答による締固め管理技術（IC：Intelligent Compaction）の普及に向けた取組みについて、2008年10月に調査を実施した。

本報告は、米国調査に参加した5名のメンバーより、それぞれの専門分野について調査結果をとりまとめたものである。本報告の全体構成および報告担当者は以下のとおりである。

1. 米国調査の全体概要 (森下博之)
 2. 米国における AMG の活用状況 (竹本憲充)
 3. 米国における AMG 導入現場 (福川光男)
 4. 米国における IC の普及促進に向けた取組み (古屋 弘)
 5. 米国における技術者育成の事例 (藤島 崇)
- 最初に、米国調査の全体概要について報告する。

(2) 米国調査の基本情報

(a) 調査メンバー (7名)

建山和由（立命館大学教授：情報化施工推進会議 委員長）
 福川光男（鹿島道路㈱：社日本建設機械化協会 情報化施工委員会 委員長）
 古屋 弘（㈱大林組：情報化施工推進会議 委員）
 月本行則（酒井重工㈱：社日本建設機械化協会

情報化施工委員会 委員)

森下博之(国土交通省:情報化施工推進会議 事務局)
 藤島 崇(社日本建設機械化協会施工技術総合研究所:
 社日本建設機械化協会情報化施工委員会 事務局)
 竹本憲充(同上)

(b) 調査日程

平成20年10月19日(日)～24日(金)

(c) 訪問先

①政府関係機関

FHWA (Federal Highway Administration :
 連邦道路庁)

NYDOT (Department of Transportation, NY :
 ニューヨーク州交通局)

MNDOT (Department of Transportation, MN :
 ミネソタ州交通局)

②関連メーカ

TOPCON POSITIONING SYSTEMS, INC.

(カリフォルニア州)

CATERPILLAR PAVING PRODUCTS INC.

(ミネソタ州)

(3) 米国調査結果の概要

(a) AMG について

州政府（発注者）は AMG（日本では「マシンコントロール」や「マシンガイダンス」と呼ばれている）の導入を推奨しているが、導入の採否は施工者の判断に委ねており、発注者側が仕様書等で導入を指示することはなく、AMGの導入コストについても請負者の負担となっている。一方で、州政府の具体的な取組みとして、3次元設計電子データ（EED：Electronic Engineering Data）やGPS補正信号をAMGを導入する施工者に無償で提供するなどにより、施工者のAMG導入を支援している。一部の大規模工事においては、VEを実施した事例もある。また米国では、品質向上や工期短縮等に対するインセンティブ（報奨金）が契約に盛り込まれる場合があり、AMGはこのインセンティブの獲得に繋がる有効な手段として認知さ

れている。これら AMG の活用状況および TOPCON POSITIONING SYSTEMS 社の最新型 AMG ブルドーザの技術動向については竹本氏の報告をご参照いただきたい。

さらに、今回の調査では、ニューヨーク州のアルバニーの国道拡幅工事の現場を調査する貴重な機会を得ることができた。現場調査の詳細については、臨場感のある福川氏の報告をご参照いただきたい。

(b) IC について

FHWA が Intelligent Compaction Strategic Plan (2005) を策定し、IC 普及促進を目的とした活動が精力的に行われている。この Strategic Plan では、Intelligent Compaction が定義づけされている。具体的には、「転圧中にローラ側で材料剛性を測定（土、アスファルト）」、「ローラ位置と材料剛性情報等を連続記録」などが要求されており、振動ローラの加速度応答による転圧管理による品質管理（QC）、品質保証（QA）を目指したものとなっている。

特筆すべきは、Transportation Pooled Fund #954 という基金である。各州 DOT が FHWA に出資し、その基金を各州 DOT へ再配分し、HMA（Hot Mix Asphalt）や路盤・土工を対象に IC を試験導入している。これら IC の普及促進に向けた取組みや研究動向については、古屋氏の報告をご参照いただきたい。

さらに、AMG のところで紹介した品質向上や工期短縮等に対するインセンティブ（報奨金）の獲得に向けて、建設機械メーカ側としても機械の操作方法や ICT による施工管理方法のコンサルティングビジネスを展開している。日本においては、2008 年 7 月より（社）日本建設機械化協会による情報化施工研修会が実施されている。特定のメーカではなく、業界団体が実施するという体制については、米国側も高い関心を示した。詳細については、藤島氏の報告をご参照いただきたい。

(4) まとめ

AMG については、施工品質や施工効率の向上を実現する技術として、発注者、施工者ともに広く認知され、大規模な工事現場のみならず小規模な工事現場においても広く利用されている。発注者も、3次元設計電子データや GPS 補正信号の提供など AMG の導入を推奨し、協力している。

IC については、まだ実用化レベルには至っていないものの、全米規模で精力的に研究・試験導入が進められており、QC/QA を実現する将来の施工管理として期待されている。

全体として、このままでは日本の誇る建設施工の品質や効率において、米国に大きく遅れをとってしまうのではないかという危機感を強く感じた調査であった。日本においても、産学官が強力で連携し、情報化施工推進戦略を強力に実行することで、建設の機械化につづく ICT による建設施工革命を早期に実現する必要性を再認識した次第である。

(5) 謝辞

本調査は、情報化施工推進会議の委員長である建山和由教授の呼びかけにより実現したものである。約 2 ヶ月という短い準備期間と実質 6 日間という短い調査期間にもかかわらず、カリフォルニア州、ワシントン DC、ニューヨーク州、ミネソタ州という広範囲かつ多様な関係者への調査を効率的かつ効果的に実現することができた。これは、FHWA の Victor Gallivan 氏や、先に紹介した米国の IC プロジェクトに参画されている酒井重工(株)の月本行則氏、SAKAI AMERICA, INC の Todd Mansell 氏をはじめ、関係者の方々のご尽力によるものであり、ご協力に心より感謝を申し上げます。（本報告は、2008 年 12 月 18 日（木）に（社）日本建設機械化協会情報化施工委員会の主催で開催した公開報告会における発表内容をまとめたものである。）

2. 米国における AMG の活用状況

竹本 憲 充

(1) AMG の概要

“AMG (Automated Machine Guidance)” とは、重機搭載のモニタに、設計仕上がり形状を横断面図で表示することにより、丁張りに代わるガイドをオペレータに提供するシステムである。広義では、3次元設計データを車載 PC 等に入力し、排土板を設計形状に沿うように自動制御するマシンコントロールシステムも含んでおり、こちらの意味で用いられることが一般的である。元々は同技術を開発・提供している重機・測器メーカから提案された用語であり、AASHTO（米運輸交



写真 2-1 AMG ブル



写真 2-2 AMG 油圧ショベル

通担当者協会)の委員会で正式に用語認定されたものである。

(2) AMG と併用される要素技術

AMG単体の使用では導入効果が限定的となる。米国では、受発注者双方にとってのAMG導入効果を最大限に引き出すために、下記(a)、(b)の2技術をAMGと併用している。

(a) 3次元設計データ

設計図書が3次元設計データ(EED-Electronic Engineering Data)として建設事業の早い段階で作成される。施工計画段階では、3Dビューを用いた施工上の問題点早期把握、数量計算自動化等のメリットが得られ、施工段階では、様々なAMG建機に入力するコントロールデータとして活用できる。また、建設プロジェクト全体を通じてEEDデータを共有し、協議等に活用することで、受発注者間の理解・信頼が促進される。

ニューヨーク州、ミネソタ州では発注者が発注段階で3次元設計データを作成・提供している。これらの州ではAMGとEEDの円滑な連携をはかるため、精度・データ形式等を仕様書として定めるとともに、EEDとGPSローバ(後述)を用いた出来形検査方法を公表しており、請負者によるEEDデータの利用がなされやすい環境が整備されている。

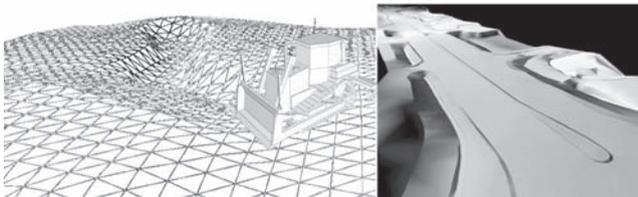


図2-1 EEDの一例

(b) GPS ローバ

AMGによる敷均し工・整形工では、現場に設置する丁張りが大幅に省略されるため、丁張りを目安とした出来形管理・検査が困難になる。そこで、GPSローバで計測した任意点の出来形の座標値をEEDと比較し、現場で即座に設計と出来形との比高差を算出・表示するシステムが用いられる。ニューヨーク州のDOT(運輸省)では、GPSローバは請負者が調達するが、そのコストは発注金額にあらかじめ上乗せされている。請負者は導入コストの負担無しで、ローバを丁張り設置、出来形・出来高管理に利用できる。また、発注者は、測定準備等で請負者に依存する部分の大きかった従来の出来形確認手法から脱却し、既存のベンチマークの正確性チェックを含めた、独自の出来形確

認を行えるようになった。一旦GPSローバを使い始めた監督職員はこれを手放せなくなるとの話も聞かれた(写真2-3参照)。



写真2-3 GPSローバを用いた発注者による出来形確認

(3) AMG 導入に対する発注者のスタンス

米国では、DOT等の発注機関がAMGの導入を推奨しているものの、導入することに対する請負者への直接的なインセンティブ付与は行っていない。AMGを導入するか否かは基本的に請負者の自由であり、導入コストは請負者の負担となる。ただし、請負者がAMGの導入を希望する場合、EEDデータ提供や、RTK-GPSの補正信号の無料配信(インターネット経由)等、発注者側からの支援が与えられる。また、社会的重要度が高い施工対象物については、品質向上・工期短縮に対するボーナスが設定される場合があり、これが間接的にAMG導入のインセンティブとなっている。VEについても我が国と同様に実施されており、VEによりAMGが導入された事例がある。

(4) 最新のAMG

AMGブルドーザは、排土板に取り付けたGPS等により、排土板下端の標高を測定し、排土板が設計に沿うように上下動を自動制御する。ブルドーザの特性として、履帯が地盤の不陸上を通過する際に、ベースマシンがピッチングし、ブレードごと大きく縦揺れする。そのため、ブレードの制御が揺れに追いつかず、設計どおりの仕上がり面が得られないことがある。Topcon Positioning Systems社の最新AMGブルは、排土板の測位を従来のGPS等に加えて3軸ジャイロでも行っており、10~20Hzで得られるGPSの測位データを、100Hzの高頻度で補間している。本機能により、ピッチングの際の排土板の縦揺れを素早く収束させる制御が可能となった。写真2-4(a)は従来のAMGブルによる敷均し結果であり、部分的な不陸が目立つが、最新AMGでは、写真2-4(b)のとおり、高速(3速)走行でも1パスで設計どおりの仕上がりを得ることができる。



(a)従来のAMGブル

(b)新型AMGブル
(3速での施工)

(Topcon Positioning Systems社におけるデモ施工の結果)

写真 2-4 AMGブルの敷均し結果比較

(5) おわりに

米国では特に発注者が AMG 導入に積極的である。各州の DOT には、AMG や GPS ローバに対応した出来形管理基準・規格値を独自に策定できる裁量があるため、新技術の導入がなされやすい発注環境を柔軟に整備できる。発注者職員の 3D-CAD・GPS ローバへの習熟も進んでいる。そして、受発注者双方が歩調を合わせて AMG 導入に取り組むことで、施工だけでなく建設プロジェクト全体の業務改善がもたらされている。我が国で AMG の普及を促進する上で、成功事例として学ぶところは大きい。

3. 米国における AMG 導入現場

福 川 光 男

(1) はじめに

今回の調査旅行において、唯一、実際の情報化施工現場を見学する貴重なチャンスを得ることが出来た。施工現場は、種々の条件が刻々と変化するので、短い決められた時間内にタイミングよく、目的に合った調査項目をこなすことは極めて稀なことである。限られた時間内の調査であったが、実際の施工現場での情報は大変貴重なものであり、更に、収集した情報を後日精査することにより、北米での情報化施工の普及活用状況を推測することが出来、改めて、情報化施工の有効性を感じた。

(2) 調査を行った工事概要

今回の現場調査に当たっては工事発注者であるニューヨーク州道路局 (NYS-DOT) の紹介によるものである。施工現場はニューヨーク州 (マンハッタンより 500 Km 北上) 内陸部アルパニーの国道の拡幅工事であり、道路網の発達した米国においては、舗装補修とこの種の改良工事が多いようである。米国大陸での現場は我が国では稀な大規模な施工をイメージしていたが今回は供用中の道路を車線規制しながら既存構

造物との接合箇所を持つ極めて我が国での規模に似た箱庭的な施工現場であった。施工業者は AMG システムを搭載したブルドーザ、パワーショベルを数台持つ従業員 400 名程度の中規模の州内施工業者である、Lancaster Development, Inc 社の Dominick IZZO チーフエンジニアに案内をしてもらった。施工体制において、この種の改良工事で我が国と大きく異なる点は、路体、路床の下部構造箇所と路盤、舗装の上部構造箇所を一体で受注、施工しており、施工用データを下層から上層部まで連続した関連付けが出来るので、情報化施工システムを生かした施工の合理化を可能にしている。

(3) 現場での情報化施工体制

まず始めに、現場から 1 Km 程度はなれた所にある現場事務所を訪問した。ここで施工データの作成、運用を基に工事の出来高、出来形、工程、原価などの施工管理を行っている。

(a) 活用を促進する GPS 補正情報サービス

情報化施工において、工事の進捗状況に応じた作業座標をデュアルタイムで得ることが要になり、その手段として GPS (GNSS)、即ち、人工衛星を用いた測位システムが使用される。しかし、瞬時に精度の高い位置情報を得るには、概知座標に設置した補正用の基地局を必要としなければならない (図 3-1)。大規模な長期にわたる工事においてはその都度補正用基地局を設置することが可能であるが、規模の小さい工事、作業箇所が分散している現場などでは手間と費用の掛かる作業となる。そこで、発注者である NYS-DOT (ニューヨーク州道路局) は更なる情報化施工促進のためのサービスとして、補正情報を提供するインフラ整備として固定の補正用基地局を州内に 46 箇所 (間隔は約 40 ~ 50 Km) に設置・運用し (設置、管理)、更に、隣接州の基地局 10 箇所を加えた位置補正基地局ネットワーク (CORS=Continuously Operating Reference Station Network) として構築している。(図 3-2) このネットワークを活用することにより、任意に設置された現場事務所の位置補正データは隣接

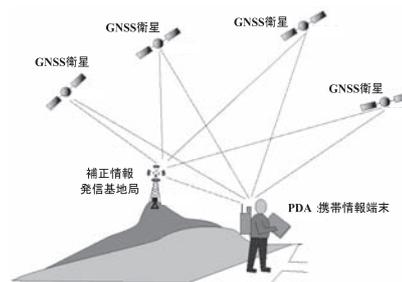
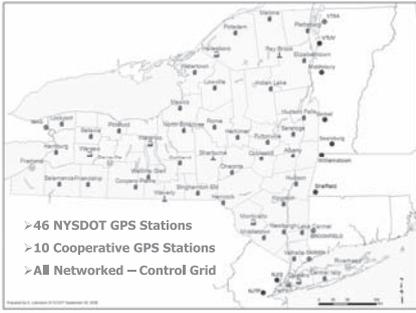


図 3-1 GNSS 測定の要領



- Single Statewide Datum
- Used to Establish Project Control
- Locating Existing Terrain
- Stakeout of Construction
- Inspection of Construction
- Positioning Underground Utilities
- Positioning Anywhere w/Cell or Internet Access
- 2 cm Horizontal, 3 cm Vertical
- Available to All GPS Users
- Shared by Public & Private

図 3—2 NYS CORS Network

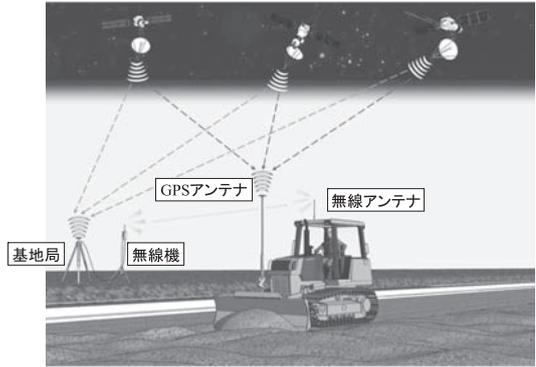


図 3—4 マシンコントロールシステムのイメージ図

する複数の基地局のデータを使用して、作成され、インターネットラインによって配信される。施工現場へはそこから、携帯電話もしくは専用無線により、計測用ローバや施工重機の数値制御システム（AMG, AMC）の位置補正データとして配信される。イメージを図 3—3 に示す。一方、我が国においては、地殻変動監視目的ですでに全国土をカバーする 1200 箇所の GNSS 位置データ補正用基地局のネットワークが平均 20 Km の間隔での完備されており、この機能を土木建設施工面にも活用することが情報化施工の普及に繋がるとして望まれている。

(b) 電子施工データ（EED）の取り扱いとその活用方法

従来工法では施工設計図面より測量作業にて作業指標となる丁張り杭などを設置して、目視により偏差を確認しながら作業を行っていたが、情報化施工では設計座標データを作業用重機械に直接インプットすることにより自動制御することを可能にしている（図 3—4）。そのために作業用デジタルデータ（EED=Electronic Engineering Data）を作成する必要がある。そこで、最も合理的なシステムは、発注者が設計時に作成した CAD データをそのまま提供して

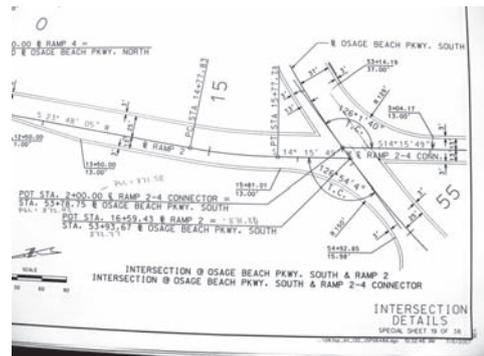


写真 3—1 紙ベースの設計図

活用することが考えられる。しかし、試験的に試みられている州もあるとの情報があるが、一般的には、未だに、発注者より提供された紙ベース（写真 3—1）から受注施工者が情報化施工用に加工したデジタルデータを作成することが必要になっている。情報化施工システムを採用している先進的な施工業者からはこの辺の合理化を望む声も上がっている（写真 3—2）。更に施工業者は、EED をメッシュ状に加工した TIN (Triangular Irregular Network) にして施工機械を制御させる（写真 3—3）。更に、三次元の地形図 DTM (Digital Terrain Model)（写真 3—4）に完工状態をシミュレート加工することにより、既存構造物との整合性の確認、施工従事者間の共通した作業認識を構築することが可能となる。

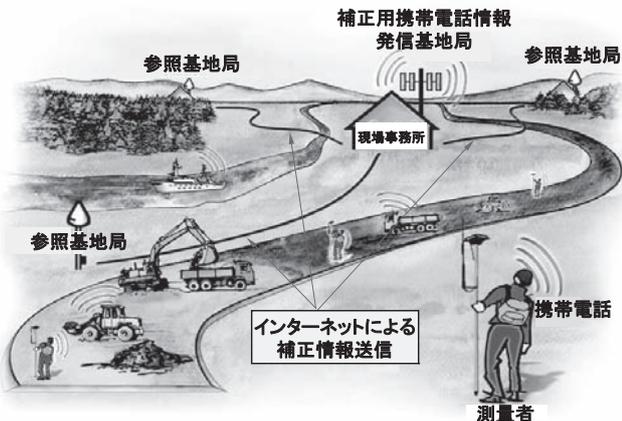
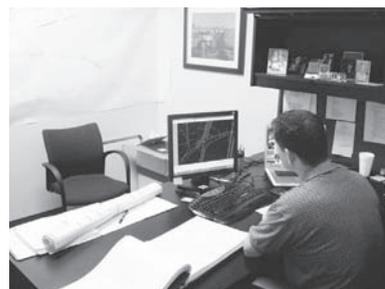


図 3—3 測量 GNSS の建設作業への応用



- Converting paper files to electronic files is “Reverse Engineering”
- This is a nationwide challenge that is being resolved as we speak

写真 3—2 紙ベースからデジタルデータ（EED）への変換作業

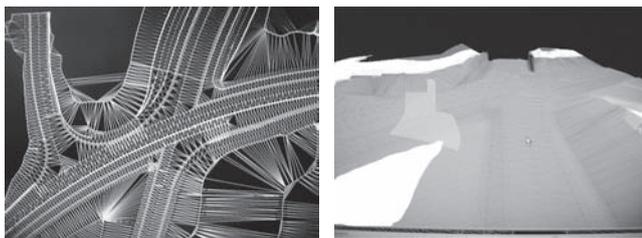


写真3-3 EEDからTIN図の作成 写真3-4 EEDからDTMの作成

(c) 施工現場状況

秋も深まりつつある2008年10月21日小雨が降る中施工中の現場に向かった。施工現場は交通量の増大に対処するため道路幅員を拡張する工事である(写真3-5)。この地域の地形は起伏も少なく平坦であるが、冬季には積雪もあり、地下水位も高く故に、舗装路面高さは路体に盛土された路床上の3~4mの所に位置する。施工の状況から、拡張部の構成断面は図3-5のように推定される。まず、対象地盤の上に荷重分散機能を目的とした地盤補強材としてメッシュ状のジオテキスタイルを広く先行した盛土上をダンプトラックで運搬されてきた碎石をパワーショベルで一定の厚さに敷き均していた(写真3-6)。引き続き、後方の既存路肩斜面に待機していたブルドーザが移動して客土された盛土材を敷き均す作業が行われ



写真3-6 地盤補強シート上に碎石を敷き均す

た(写真3-7)。ブルドーザの敷き均し作業は敷き均し高さと勾配をインプットしたデータにより、キャビン内に設置された左右のブレードの高さと、操向を指示するインジケータ(写真3-8)に標示することによりオペレータはその指示情報によって操作レバーを制御する、ガイダンスシステムAMG(Automated Machine Guidance)が採用されていた。このシステムは直接EEDの情報を電気信号に変換して作業装置の油圧バルブを制御させるAMC(Automated Machine Control)とは異なり、制御用の電磁バルブを必要としないので既存仕様のブルドーザに付属装置として標示システムを取り付けるだけで運用する簡便性が利点である。但し、操作の応答性については人的操作に依存する面があり施工精度が劣る場合もある



写真3-5 道路幅員拡張現場



写真3-7 AMGブルドーザでの盛り土工

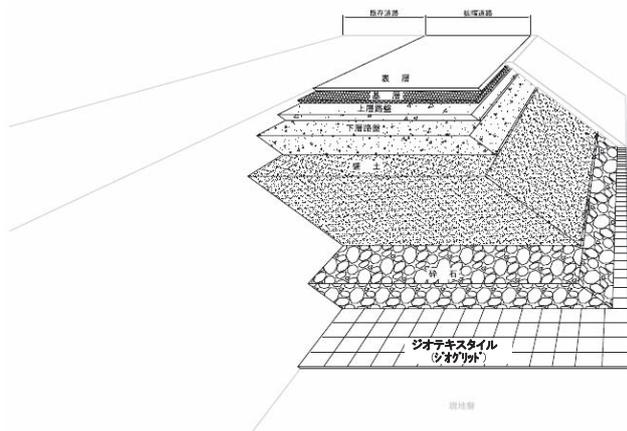


図3-5 拡張部の構成断面予想図



写真3-8 AMGブルドーザの操作レバー指示ディスプレイ

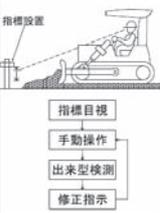
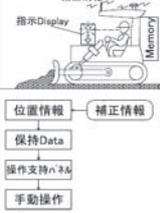
操作方法	人的操作	情報化施工(数値制御)(Numerical Control)	
操作区分	指標操作 Man Control	支持操作 Guidance Control	自動操作 (Automated) Machine Control
施工情報伝達手段	設置指標 (丁張り)	電送(レーザー)位置Data(GNSS, TS) 保持設計座標(Memory Chip)	電送(レーザー)位置Data(GNSS, TS) 保持設計座標(Memory Chip)
操作判断	目視	指示操作情報(Display)	制御情報
操作手段	予測手動操作	指示手動操作	自動制御
操作手順	 <p>指標設置 指標目視 手動操作 出来型検測 修正指示</p>	 <p>指示手動操作 GNSS情報 位置情報 補正情報 保持Data 操作支持メモリ 手動操作</p>	 <p>自動制御 GNSS情報 位置情報 補正情報 保持Data 油圧電磁弁 自動制御</p>

図3-6 情報化における建機数値制御の操作方法



写真3-9 GNSSローバでの出来形計測

が、路床部での施工ではその機能を十分に発揮して実用性が高く、指標を目視する従来操作と比べ飛躍的に操作性が改善される。従来の人的操作とMG, MC操作方法の比較を図3-6に示す。AMGブルドーザによる敷き均し高さはEEDがインプットされた3次元測位計測のローバによって設計値との出来形のチェックが一人で簡単に出来、機械作業と並行して行われる(写真3-9)。又、計測データはレコーダに記録され、現場事務所でその日のうちに集計され、出来形の確認と、出来高の集計が行われる。もし、従来工法でこの狭隘な施工現場で何層もの異なった材料で構成される各層の高さ管理をどの様に行ったのか? 案内してくれたIZZO チーフエンジニアの自信に満ちた顔が思い起せる。

《参考資料》

- 1) Automated Technologies in Construction 2008 Iowa Workshop Dan STREET, PE & S New York State DOT
- 2) GPS in Construction 2008 Duglas Townes P・S FHWA Resource Center
- 3) ‘マシーンコントロールシステムの概要’ 2009.02.12 施工総合技術研究所 第5回情報化施工研修会 福川

4. 米国におけるICの普及促進に向けた取組み

古屋 弘

(1) ICとは

ICとは Intelligent Compaction のイニシャルであり、道路の舗装工事の高品質化と効率化を目指した施工・品質管理を意味する。一般にはICプロジェクトとして認知されており、このプロジェクトは米国FHWA (Federal Highway Administration; 連邦道路局)の政府方針 (IC Strategic Plan, 2005.4)・指導に基づく活動である¹⁾。

Intelligent Compaction は主に振動ローラによる転圧に関するシステム化の試みであり、以下の5つの目標が掲げられている。

- ①転圧中にローラ側で材料(土, アスファルト)の品質, 特に剛性を測定する
- ②ローラ位置と材料剛性情報等を連続記録する
- ③剛性値と転圧回数等の締固め情報をリアルタイム表示する(オペレータ・検査官用)
- ④舗装管理システムのデータベースとリンク可能なシステム, データ構造とする
- ⑤振動ローラの締固めパラメータ(振幅・振動数等)を自動制御する

上記の①に関してはNCHRP(全米協力研究プロジェクト)のICプロジェクト(土工用振動ローラ)と並行実施されており、舗装工事のみならず路体への適用も視野に入れている。

このようなシステムを導入することにより、以下のような効果をもたらすものとしている。

- ①情報化 (ICT) によるより良い品質管理の実施と品質保証
- ②面的なデータの取得と可視化による締固め品質の均一化
- ③上記を実現することによる道路構造物の長寿命化
- ④施工の無駄を省くことと高品質化によるコスト削減
- ⑤施工中に得られた情報をプロダクトデータとして、道路の維持管理に活用

このプロジェクトの大きな特徴は、FHWAが主導しTransportation Pooled Fund #954という連邦政府がIC普及促進のための研究を行うために各州より出資させた基金を利用して実工事現場にてICを試験している点である。すなわち本プロジェクトの実験の費用は、各州→FHWA→実験に参加する各州へ再配分、という流れであり、2008年度以降においては13州が参加している(図4-1)。また、このプロジェクトはローラメーカーと連携していることも特徴であり、

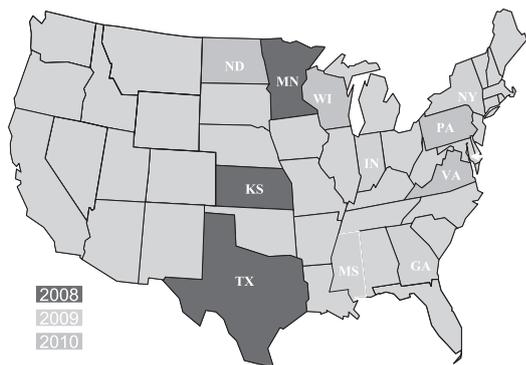


図 4-1 IC ワークショップ (TPF#954 へ参加する DOT)

路盤, アスファルト (HMA; Hot Mix Asphalt) を対象に, 品質管理等の仕様書を作成するとともに, 各メーカーの IC システムから得られたデータを, 現場試験器 (FWD・GeoGauge 等) との相関を確認することとしている。さらに, 試行工事を通じて IC の有効な使い方を受・発注者に学ばせることも目標としており, 建設工事における ICT の普及も一つの目的となっている。

(2) IC に先立つ既往の研究

IC プロジェクトに先駆けて, 振動ローラの施工中に各種のデータを取得し, それを締め固めた土の品質管理を行う試みは 1975 年に創設された Geodynamik の Thurner 博士により本格化し, Dynapac 社, Geodynamik が共同して CMV を開発したことに始まる。1980 年代には Caterpillar 社, Ingersoll Rand 社が相次いで CMV に基づいたシステムを自社機械に採用してきた²⁾。さらに, 1980 年代後期に, Bomag 社は Omega システムを開発し, 1990 年代後期には Bomag 社は土の動的係数を測定する Evib を, Ammann 社は土の剛性 k_s の取得手法を 2004 年に開発した²⁾。

国内では, 酒井重工業が CCV³⁾ を 1990 年後期に開発し, 重機メーカー以外では藤山, 古屋らによる振動ローラ施工時の剛性管理を行うことのできる「 a システム」が 2000 年初期に開発されている⁴⁾。

これらの手法は一部の工事における品質管理に用いられてきたが, 一般的な品質管理が密度管理を基本とすることから普及には至らなかった。しかし, 道路設計の性能規定化や ICT の導入による高度な管理と品質の向上の要求により, IC プロジェクトの始まった 2005 年以降, 再び脚光を集めつつある。

(3) 主なシステム

IC プロジェクトは前述のように振動ローラを対象として, アスファルト (HMA) と土工 (路床・路盤)

を対象としており, 参加する重機メーカーは表 4-1 に示すような解析値の出力と, 転圧時の振動制御を行うこととしている (図 4-2 参照)。

締め固めるアスファルト, 土の物理的な定数は振動輪での加速度応答および機械定数を基に算出することは共通である。図 4-3 には Case/Ammann 社の解析手法, 図 4-4 には酒井重工業の解析手法を示すが, 各社の手法は異なっている。詳細は文献 2 に示されているので参照されたい。

(4) 今後の方向性

IC は本節のはじめに示したように, 舗装工事における施工の効率化とともに品質向上を大きな目標としている。品質の向上に対する目標は対象とする施工部位によって若干目標が異なるが, おおむね以下のような将来に向けてのユースケースを示している。

- (a) 土工 (路盤工) における IC 活用
 - ・オーバローリング (オーバコンパクション) の防止
 - ・検査官とのコミュニケーション改善

表 4-1 各メーカーのシステム

重機メーカー	システムの特徴	
	締め固め時の計測と解析手法	フィードバック
Ammann	$k_s = 4\pi^2 f^2 \left(m_a + \frac{m_r \gamma \cos(\varphi)}{A} \right)$	振幅と周波数制御
Bomag	$Z_a = \frac{(1-v^2)}{E_{vib}} \cdot \frac{F_t}{L} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \left(1.8864 + I_n \frac{L}{B} \right)$ where, $B = \sqrt{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{R(1-v^2)}{E_{vib}} \cdot \frac{F_t}{L}}$	振幅と振動方向の制御
Caterpillar	$GeodynamikCMV = C \left(\frac{A_{2\Omega}}{A_\Omega} \right)$ $MDP - Pg - WV \left(\sin \alpha + \frac{a}{g} \right) - (mV + b)$	振幅制御
Dynapac	$GeodynamikCMV = C \left(\frac{A_{2\Omega}}{A_\Omega} \right)$ $Bouncing Value = \frac{A_{0.5\Omega}}{A_\Omega}$	振幅制御
Sakai	$CCV - \left[\frac{A_{0.5\Omega} + A_{1.5\Omega} + A_{2\Omega} + A_{2.5\Omega} + A_{3\Omega}}{A_{0.5\Omega} + A_\Omega} \right] \times 100$	-

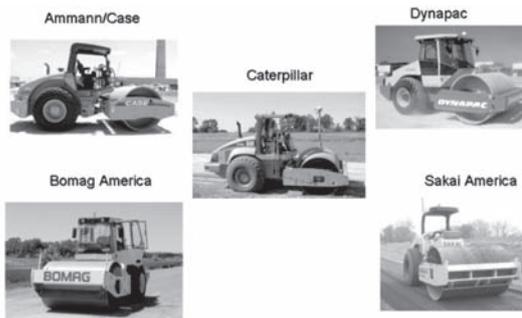


図 4-2 参加するローラメーカー — Soil IC Roller —

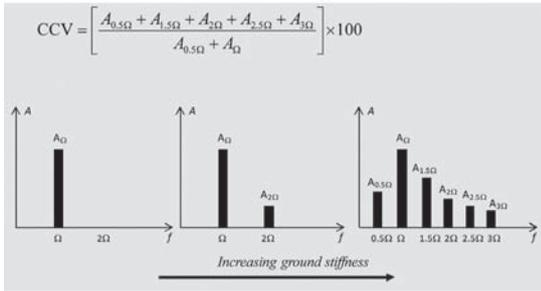


図 4-3 Case/Ammann のシステム

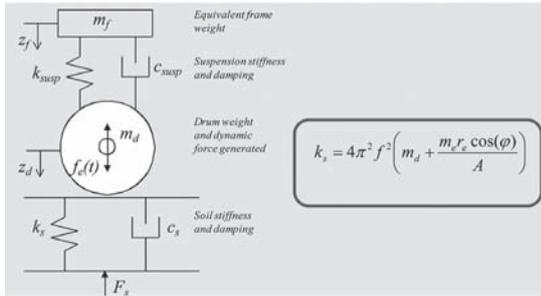


図 4-4 酒井重工業のシステム

- ・品質管理検査の削減（従来手法の検査数量を少なくする）
 - ・軟弱領域の確認 → リスクの減少
 - ・全面管理による品質保証
- (b) 舗装工（アスファルト）における IC 活用
- ・均一な品質（締固め密度）を確保するための管理技術の向上
- 温度、混合物の均一性、均一な転圧パターンの担保による品質保証

将来的には 3 次元設計データを基に施工管理を実施し、その中核に IC を用いた品質管理を実施することも考えているようである。図 4-5 に示すように、IC により取得された施工データはリアルタイム管理され、必要に応じて FEM 解析を実施して要求品質の確認を行うこともできるシステムも検討されている。

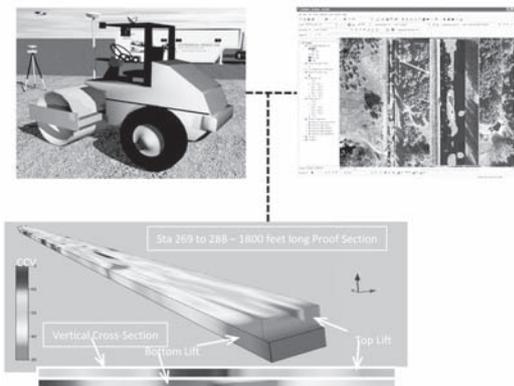


図 4-5 品質管理の可視化の例

ICT の進展と低価格化が進む中で、このようなシステムの実現もあながち夢ではなくなりつつある。このような取組みの根幹は次の言葉に端的に示されている。

「NO FAILURES !」

《参考文献》

- 1) www.intelligentcompaction.com
- 2) Michael Mooney, A.M. ASCE and Dietmar Adam : Vibratory Roller Integrated Measurement of Earthwork Compaction: An Overview, Seventh International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, ASCE, 2007
- 3) 北村佳則・西尾貴至・内山恵一：ローラ振動加速度応答を用いた盛土品質評価, 2003, 第 25 回日本道路会議
- 4) 藤山哲雄・古屋 弘：振動ローラ加速度応答を利用した地盤剛性評価装置の開発, 平成 16 年度近畿地方整備局管内技術発表会, (2004.7)

5. 米国における技術者育成の事例

藤 島 崇

(1) 建設機械メーカーを中心とした人材育成体制

米国においては、工期の短縮や品質の向上に対するインセンティブが与えられる仕組みがある。建設機械メーカーにとっても、ICT を組み込んだ建設機械や ICT を用いた施工管理によって、インセンティブ獲得に貢献できるかが商品価値を左右することになる。このため、建設機械の操作技術を対象とした人材育成の他に、より高い品質を確保するための機械の組み合わせや ICT を搭載した建設機械から得られるデータの活用方法等のコンサルティングにも注力しており、以下の 3 つの軸で人材育成体制が構築されている（キャタピラー社（ミネソタ工場））。

- ・出張コンサルティングにより施工者のインセンティブ獲得を支援
- ・機器操作方法についての講習
- ・教習教材の整備

(a) 出張コンサルティング

建設機械メーカーでありながら施工のスペシャリストを配置し、各現場の要望に対して、施工計画の作成支援、施工機械の選定など、品質向上や工期短縮などの



写真 5-1 出張コンサルティングによる支援の実施
資料出典：キャタピラー社資料より



写真 5-2 出張セミナーでの講習
資料出典：キャタピラー社資料より

インセンティブ獲得に向けたアドバイスを行う。このスペシャリストについては、社内での教育体制を別途有しており、営業拠点毎に配置しているとのこと。また、報酬については、一般的な期間や業務内容による契約の他に、インセンティブの一部を割り当てることもある（キャタピラー社）。

さらに、コンサルティングは、施工企業だけでなく、州交通局などの発注者に対しても実施することがある。

(b) 機械操作方法についての講習

機械操作方法については、地域ごとに出張セミナーを開催しており、作業員および職長クラス、元請け職員クラス、発注機関向けクラスなどが用意されている。

(c) 教習教材の整備

施工機械に関する基本的な知識、ICT 機器の基礎知識、設置上の留意点などは、アニメーションや動画を取り入れた教習教材として整備されている。

■教習教材(CD-ROM)

舗設の基礎
締固めの基礎
出来高管理システムの概要
舗装欠陥部への対応



舗装施工用の教材（キャタピラー社）

(2) 始まったばかりの国内での人材教育体制

情報化施工の実現に向けては、建設機械の操作のみならず、ICT 機器の特徴を理解し施工や施工管理に活用することが求められる。日本国内においても、昨年7月に公開された「情報化施工推進戦略」において人材育成が重点目標に掲げられている。この様な背景から(社)日本建設機械化協会では、人材育成のための研修会を発足し、ICT 機器の基礎知識から現場での活用までの実習を取り入れた研修体制を構築した。既に第5回までを実施し約100名が講習を修了している。

(3) おわりに

人材育成を進める制度面について、米国では、工期短縮や品質向上にインセンティブを与えるという契約

方式が、建設機械メーカーの技術開発競争や人材育成の仕組みを牽引していると考えられる。

人材活用の面では、発注者側においても各工種の専門職員が多数存在し、施工企業に劣らない技術を有した検査のスペシャリストが育てられており、検査のツールとして積極的に先端技術の導入と活用を進めている印象を受けた。

我が国においても、施工企業だけでなく発注者側においても ICT 技術に対する知識習得を行うことが、技術に応じた施工管理手法や検査手法の確立・普及などに繋がると考えられ、今後のカリキュラムの充実や対象工種の拡張が必要と感じた。

最後に、日本で始まった人材育成体制については、米国にはないプロジェクトであり、施工技術全体のレベルアップ手法として高い関心を持たれたことが印象に残った。今後の人材育成体制の充実とその成果に期待したい。

JICMA

【筆者紹介】

森下 博之（もりした ひろゆき）
国土交通省 総合政策局
建設施工企画課
企画専門官



竹本 憲充（たけもと のりみつ）
(社)日本建設機械化協会
施工技術総合研究所
研究第三部



福川 光男（ふくかわ みつお）
鹿島道路(株)
常任顧問



古屋 弘（ふるや ひろし）
(株)大林組 東京本社
生産技術部 情報化施工グループ
グループ長



藤島 崇（ふじしま たかし）
(社)日本建設機械化協会
施工技術総合研究所
研究第三部

