

## タイトル ネットワークを駆使した情報化技術の建設用ロボットへの展開 土工分野における IT を活用した建設ロボットの将来像と今後の課題

### 1. はじめに

最近の情報化技術(IT)の飛躍的な進歩・発展により、土工事における情報化施工システムの採用は、インターネットやデジタルカメラなどの普及、GPS や GIS などの積極的活用など、大規模な現場だけではなく中小の現場においても一層身近なものとなってきた。また、国土交通省が推進する建設 CALS/EC も本格的な運用段階に入り、ネットワークを駆使した情報技術の施工分野への展開は必然的な流れとなってきている。

国際的に見ても、1995 年に WTO/TBT 協定が各国間で批准されて以来、国際標準化機構 (ISO) による国際規格と国内規格の整合性が義務付けられるに至った。さらに将来の最も進んだ機械施工技術として期待度の高い「GPS を使用した情報化機械施工」についても機械と通信システムインターフェイス部分のプロトコル規格化に関して検討が進められている。

このような背景から建設用ロボット委員会において土工分野を担当する土木技術小委員会では、ネットワークを駆使した情報化技術の建設用ロボットへの展開について、計画・設計段階から維持管理に至るライフサイクルにおいて土工事を全体プロセスからみた IT の活用策を念頭におき、建設用ロボットにおける自動化技術・無人化施工技術の現状と将来像および今後の課題についてレビューし、そのランドデザインを描くことを試みた。

### 2. 土工分野における自動化施工での IT 活用の現状と課題

本章では、土工分野における自動化施工において、適用される主要なセンシング技術について紹介するとともに、締固め（転圧）管理システムの事例について述べた。

#### 2.1 土工分野でのセンシング技術の現状

土工分野において、自動化施工を実施するための主要な技術としては、建設機械自体を自動化する油圧制御を主体とした技術と、3次元情報を含めた位置情報を取得するセンシング技術に大別できる。本節では、油圧等の制御技術については割愛し自動化施工に適用されたセンシング技術とその活用状況について紹介した。

回転レーザー（回転レーザーレベル）

自動追尾式トータルステーション

全地球測位システム（GPS：Global Positioning System）

レーザースカナ

3D カメラ（ステレオカメラ）

## 地図情報システム（GIS：Geographic Information System）

### 2.2 自動化施工の適用事例

行政側における土工分野への自動化施工の適用事例として、国土交通省関東地方整備局（旧：建設省関東地方建設局）が平成 11 年度と 12 年度の 2 ヶ年に渡って実施したトータルステーションを利用した盛土締固め管理方法に関する施工実験が行われている。この実験成果をもとに、「盛土締固めシステムによる」盛土施工管理要領（案）が平成 13 年 3 月にまとめられ、現行の施工管理方法に対して、自動追尾式トータルステーション（以降、TS と呼ぶ）を利用した新しい管理方法が『新工法規定方式』として追加された。新工法規定方式の概要、および実際の工事において適用された締固め管理システムの事例を示した。

新工法規定方式

中部国際空港埋立工事

神流川上部ダム工事

### 2.3 将来展望

土工分野における自動化施工については、各建設機械メーカーにおいて独自に遠隔操作が可能な機械のラインナップがそろいつつある。また、レンタル会社において自動化が可能な建設機械を保有するなど、その供給体制も整いつつある。一方、行政側の動きとしては、国土交通省が無人化施工を本格的に公共工事に導入する方針をすでに打ち出しており、平成 14 年度からは一般的な砂防工事にも無人化施工を取り入れ、従来施工が困難であった地域での施工が行われるとともに、各種の建設機械を無人建設機械にカスタマイズする技術開発も進められている。

建設機械の自動化施工は、1993 年以降の雲仙普賢岳や有珠山の災害復旧に無人化施工が採用されて以来、技術的には実用可能なレベルに達している。しかしながら、機材のコストや施工効率、無線技術などの拘束条件など未解決な問題も抱えており、今後、一般工事への展開を進めるとともに、残された課題の解消を進めていく必要がある。

## 3. 防災工事における無人化施工での IT 活用の現状と課題

無人化施工とは「遠隔操作機能等の高度な操作制御システムを有する建設機械及び画像装置などにより、作業エリアが無人の状態で行える施工法」と定義づけることができる。したがって、無人化施工は雲仙や有珠山などの火山噴火災害復旧工事や甚之助谷などの砂防工事のほか、ニューマチックケーソン掘削等他の工事においても遠隔無人化であれば無人化施工と分類される。

本章では、このうち主に火山噴火災害復旧工事や砂防工事について適用される無人化施工について IT 技術の活用について記述した。

### 3.1 防災工事における無人化施工の現状

無人化施工は、作業場所の安全確保を確実にできない場合においても施工の必要性がある場合に採用され、(財)先端建設技術センター編「緊急時の無人化施工ガイドブック」では確実に安全確保できないケースとして以下の場合を想定している。

- 火山活動が収束していない
- 災害の原因、メカニズムが明らかでなく、予見と予防が困難
- 災害の原因が存在する
- 作業が斜面等安定を損なう可能性がある
- その他

### 3.2 災害復旧工事等への適用事例

現場毎に遭遇する様々な施工局面に対処するために新しい無人化施工工種、作業機構、センシングシステムの研究が活発に行われた。無人化施工への導入技術例を表 3.2.1 に示した。

表-1 無人化施工への導入技術例

無人化施工で導入した新技術	技術の特徴	導入開始例
目視範囲内での建機の遠隔操縦	50m程度まで、1台1電波	1940～/製鉄所, 鉱山
映像支援で建機の遠隔操縦 (3次元映像の試行表例あり)	現場と操作室が50m以上離れた場合, 現場からの映像が必要	雲仙で導入
移動体に搭載したアンテナ自動追尾	50GHz 簡易無線用(注1)	3方式あり
中継を利用した超遠隔化	有線, 無線方式(注2)	雲仙, 防衛庁, 有珠山,
高出力電波の特別認可	1, 2, 5Wを災害用に特例認可	雲仙, 有珠山
複数機械情報の多重伝送	中継部を有線や50GHz電波使用	雲仙で導入
機械の稼働状態監視システム	機械に状態モニタリングシステム	雲仙で導入
非搭乗型建設機械	運転席を持たない遠隔操縦専用機械	ダムコンクリート締固め
災害現場状況の遠隔調査システム	中継, 地圧・温度分布計測, サンプル採取他	北海道開発局・MHI
GPS位置情報等の追加	転圧回数, 転圧範囲, 沈下量計測	無人機では雲仙, 他
作業装置と対象の距離計測	吹付け作業の最適化制御が目的	富士砂防工事事務所
同一送信機で異仕様の機械操縦	共用変換機(送信プロトコル切替え)	北陸技術・先端センター・他
ロボQ	Li-Fi技術を使用した遠隔操縦装置	九州技術・フジタ
ALT	電磁Li-Fi技術を使用した遠隔操縦装置	西尾レポート・清水
全データの多重双方向通信	2.4GHzSS波/機械とカメラ制御+映像	関東技術事務所
無線LAN上でのデータ伝送	Internet Protocolによる制御・映像データの伝送	五洋資格取得実験
有線・無線LAN組合せ施工	複雑な地形, 長距離現場での伝送エリアを拡大	利根川総合砂防谷沢川

### 3.3 災害復旧工事等への適用事例

無人化施工の実施例を以下に示した。

富士山源頭域調査工事

有珠山における無人化施工実績

雲仙普賢岳における無人化施工

矢沢川における無人化施工実績

### 3.4 今後の無人化施工技術の展開とその課題

無人化施工技術を今後さらに適用拡大するためには以下の事項を解決していく必要がある。

無人化施工の対象工種拡大

無線の制限と今後期待される新しい通信技術（無線LANや他の通信手段）

センシング技術

無人化施工の管理基準整備

## 4. ITを活用した建設ロボットの将来像と今後の課題

### 4.1 IT化を活用した土工事の自動化技術の例

土工事分野における、具体的なニーズ主体に自動化技術の実例を土工事分野、防災工事分野、その他の分野（メンテナンス分野）の3分野に分けて紹介した。

その他の分野では、橋梁塗り替え塗装ロボット、ロータリー除雪車の自動操舵技術をとりあげた。

### 4.2 建設用ロボットを取巻く情報化技術

「ISO TC127」における情報化機械土工分野における標準化への取り組み、標準化の考え方、データ交換規格の機能および規格原案作成について述べた。

また、「建設 CALS/EC」について背景と目的、現状および次世代の展開について示した。次世代 CALS/EC については 1996 年度に旧建設省が取り組んで以来、着実に展開しているが、2004 年度を最終ゴールとした当初計画時点とは、次ページの図-1 に示すように、さまざまな背景が異なっている。このような CALS/EC を取り巻く背景の変化や、新しいニーズに対応すべく、2004 年度以降求められている課題を今時点から準備しておく必要がある。なお、新計画は現計画の完了を待ってスタートするのではなく、2003 年から現計画と並行してスタートさせ、円滑に計画を移行させていくものである。

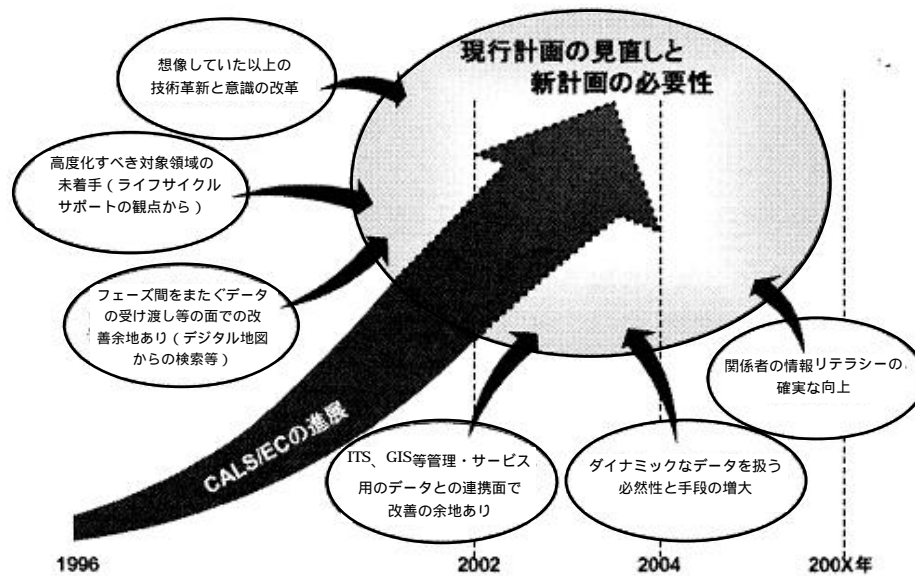


図-1 新たな計画策定の背景

#### 4.3 土工事自動化におけるサービスと利用情報

##### 4.3.1 土工事における情報利用の実態

紹介した試みの多くは大規模工事における事例であり、使用システムもメーカーが独自に開発したシステムである。また、プロジェクト毎に重機制御に使用する情報の準備をする必要があるため、どこの現場にでも手軽に活用するものには至っておらず、コストに見合うだけの便益が出るような比較的大規模な現場でのみの使用にとどまっているのが現状である。

情報利用上の問題として、

- (1) 設計情報活用上の問題
- (2) 工事書類の作成における問題
- (3) 機械施工における情報利用の問題

があるが、設計時の電子データが2次元化されて再利用されていないこと、施工時に得られる出来形情報(3次元)などの再利用が十分できていないことが原因と考えられる。

したがって、これまでの情報化施工が目指した機械化施工による効率化に止まらず、3次元空間情報を活用することによって、プロセス全体に亘るサービス(後述)および業務改善(BPR)を実現することを目標とする“あたらしい情報化施工”による対応が必要と考える。

##### 4.3.2 3次元空間情報活用によって実現するサービス

事業計画、調査・設計、工事、維持管理および更新にわたる土木工事の全体プロセスにおける情報利用について、図-2に示した。この図では、特に膨大な情報を扱う工事におい

て、品質管理、資機材管理、監督検査、機械施工、出来形管理、安全/環境などの情報化施工のサービスが実現すると考える。情報の再利用可能な、情報流通を実現するためには、上流から下流まで流れを阻害しない、計画から更新まで情報利用を実現する必要がある。前項で示したように流通させるべき主な情報は設計情報、出来形情報で3次元データとして有効利用することにより、様々な便益が生じるものと思われる。さらに、施工の各場面における必要情報については、様々な場面における情報の分析に基づいた整理や情報のモデル化が必要となる。

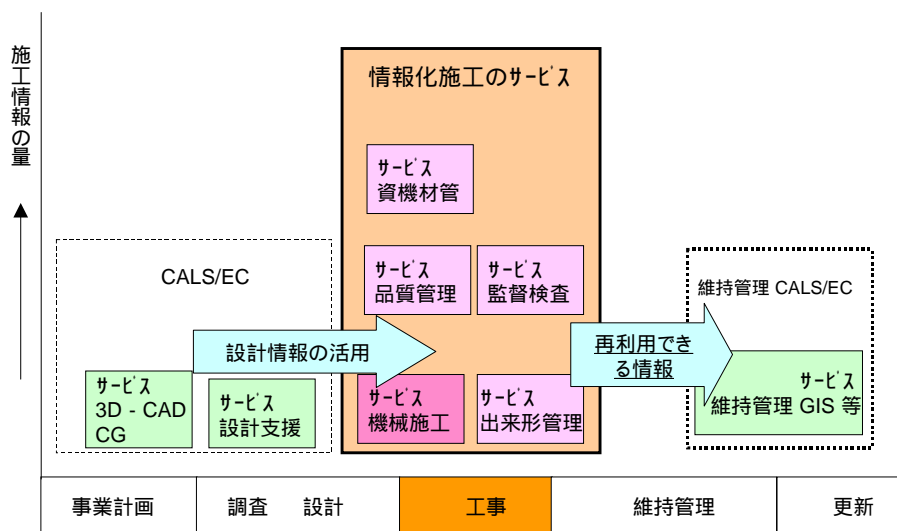


図-2 工事プロセスと利用情報（イメージ）

サービスの実現例を箇条書きで下に示す。

- 現況地形と設計形状の対比を容易にする
- 丁張り作業を効率的に行う
- 出来形形状と設計形状との対比を容易にする
- 設計データを利用した重機制御データの作成
- 出来高管理（出来高数量把握）の効率化
- 品質管理
- 出来形データを利用した維持管理データ（GIS）の作成
- 設計変更時の現場作業の迅速化

#### 4.3.3 土工事自動化における情報活用

機械施工の分野において実現が想定されるサービス例についてロボット施工のモデリングに基づき整理し、続いてこれらのロボットおよび機械施工関連サービス実現のための課題を示した。

機械施工の利用情報、想定されるサービスについて述べ、機械施工分野でのサービス実現のための課題を下に示した。

- 1)3次元データ利用の推進
  - 施工管理モデルの確立
  - 3D設計情報の活用推進
  - 出来形情報の施工場面での利用推進
- 2)施工システム構築上の課題
  - 必要な情報システムを明らかにする
  - 施工状況を把握する要素技術の開発
- 3)人間 - 機械協調型操作制御
  - 人間 - 機械の役割分担の考え方
  - 人間 - 機械間で受け渡しされる情報
  - 人間 - 機械間での情報交換のツール
- 4)情報標準化の必要性

#### 4.4 土工事自動化の将来像と今後の課題

##### 4.4.1 土工事自動化の将来像

自動化技術の適用分野としては、土工関連分野が建設工事の自動化を引っ張っていく工種の一つであると考えられる。今後は環境汚染として大きな問題になっている土壌汚染現場において、とくに有害なダイオキシン類やPCB（ポリ塩化ビフェニル）放射性物質に汚染された土壌の掘削や除去などにも活用が広がるものと考えられる。

ハード面では、土工機械に加えてダンプトラックや不整地運搬車（クローラキャリア）などの運搬機械の自動化が図られている。今後はこれに加えてクレーン系の揚重機械の自動化・無人化が期待される。また、従来タイプの施工機械に自動化操作ユニットを現場で取り付けることによって、無人化施工機械として使用できる技術も開発されつつある。

今後はCAD等の設計情報を施工段階で活用することや、施工中の機械から吸い上げた情報を品質管理、出来形管理に活用するなどのデータの連携、活用範囲の拡大が見込まれる。

##### 4.4.2 土工事自動化に関する今後の問題

施工情報の共通化・標準化が必要であり、情報の標準化によりネットワーク化が容易になる。たとえば現場内の位置情報について、1台のデータストレージ用コンピュータに各個別システムがアクセスして情報を引き出し/書き換え/格納することにより、各個のシステム（締固め自動化システム、敷均しシステムなどの独立したシステム）が共通に使う部分（この場合は位置情報）を切り離すことができ、システムが身軽になる。

また、上流の設計段階から施工段階・下流の管理・検査まで連続して3次元の工事情報が共通利用できるような環境を整備することが今後重要であり、これら利用情報の標準化を進めることが大きな課題である。

無人化施工においては、工事間でのデータ通信技術の進展、無線LANの適用、超高速モ

パイル通信システムの開発・実用化、および期間を限定した無線通信環境に関する諸規制の緩和などが課題となる。

#### 4.4.3 土工分野における情報化技術の普及に向けて

発注者と施工業者との間で、情報化施工システムで得られた施工・施工管理情報に基づく新たな品質の評価基準を具体的に取り決めることが、新たな仕組みづくりのポイントとなる。これにより、施工業者は発注者に対して、品質を保証し責任を負う対象が明確になると同時に、得られた施工管理情報の提出に伴う効率よい施工管理が保証されることになる。

また、機械性能と管理情報の標準化による品質保証については、発注者と施工業者との間で情報化技術に対する性能基準や管理方法などの統一が必要である。

情報化技術を普及させるためには、従来の管理の仕組みに代わる新たな仕組みが求められており、そのためには、発注者と施工業者には新たな施工・施工管理の環境を整備していく必要がある。もし、これが実現したならば、施工業者にとっては従来以上に施工に自己責任が伴うことになる反面、施工や施工管理では効率化とコスト縮減効果が得られることになり、一方、発注者にとっては品質管理責任の負担軽減が予想されるなど、両者は、共に情報化技術の恩恵を手にすることができるであろう。

## 5 . おわりに.

近年の急速な電子情報技術の革新に伴い発展を続ける情報ネットワークを駆使した情報化技術の建設用ロボットへの展開という観点から、土工分野における IT を活用した建設用ロボットの将来像と今後の課題について、調査・検討を行った。

第2章～第4章に示したように、建設用ロボットの土工分野における利用の高度化を図るためには、情報利用標準化の流れの中で機械と通信システムの規格化および新たな情報サービスによるランドデザインを着実に構築し、計画・設計段階から維持管理に至る情報の一元化による相互利便性の向上・改善を進めることが肝要であると提言する。