



ロボット技術 特集

国土交通省におけるロボット等を活用した 建設施工に関する取組み

星 隈 順 一

土木工事においては、雲仙・普賢岳のような災害復旧現場のほか、地下空間、トンネル、急傾斜地、土壌汚染地における工事など、危険や苦渋を伴う作業が含まれていることが多く、そのような建設施工の作業環境を改善し、作業の安全性を向上させる新しい技術として、人に代わってロボット等が作業をするロボット施工の活用が期待されている。国土交通省では、平成15年度より平成19年度までの5ヵ年の計画で、最先端のITやロボット技術を活用し、3次元空間データを用いた施工技術や遠隔操作ロボット等による施工技術の研究開発に着手した。本報文では、国土交通省におけるこのようなロボット等によるIT施工システムに関する技術開発の取組みの計画概要を紹介する。

キーワード：ロボット施工，3次元空間データ，遠隔操作

1. はじめに

土木工事においては、雲仙・普賢岳のような災害復旧現場のほか、地下空間、トンネル、急傾斜地、土壌汚染地における工事など、危険や苦渋を伴う作業が含まれていることが多い。そのような建設施工の作業環境を改善し、作業の安全性を向上させる新しい技術として、人に代わってロボット等が作業をするロボット施工が考えられている。

製造業の分野では、生産性、精度、品質を高めるために産業用ロボットが様々な形態で活用されているが、建設施工の分野では、ロボット技術の活用事例はまだ多くないのが現状である。これまでに実用されてきた主な建設施工用ロボットとしては、

- ・災害復旧用バックホウ、
- ・ブルドーザ等の遠隔操作技術（リモートコントロール技術）、
- ・シールドトンネルの全自動運転のような自動化・複合施工技術、

等があるが、災害緊急復旧等の特殊現場等、特定の現場への適用にとどまっており、建設施工用ロボットの開発・普及が広く進められていないのが現状である。

そこで、国土交通省では、平成15年度より平成19年度までの5ヵ年の計画で、最先端のITやロボット技術を活用し、既にある災害復旧現場等におけるロボット施工技術の汎用性を高めるとともに、施工現場において容易に利用可能な3次元空間データを用いた施工

技術や遠隔操作ロボット等による施工技術の研究開発に着手したところである。本報文では、国土交通省におけるこのようなロボット等によるIT施工システムに関する技術開発の取組みの計画について、その概要を紹介する。

なお、国土交通省では、社会資本整備、交通分野を中心に平成15年度から平成19年度までの5年間を計画期間として、その間の国土交通省の技術研究開発の方向性を明らかにした「技術が支える明日の暮らし—国土交通省技術基本計画—」（以下、「技術基本計画」という）を策定している。

この技術基本計画は、国土交通省の技術研究開発の方向性をできるだけ具体的に示すことにより、産学官における研究者が共通の認識を持ち、より効率的な技術研究開発が促進されていくことをねらいとしており、重点的に実施する研究開発テーマとして、10テーマが重点プロジェクトに位置づけられている。これらの具体的な内容については本誌（pp.17-20）で別途紹介されているので、参考にして頂きたいが、重点プロジェクトの一つとして、建設ロボット等による自動化技術の開発が挙げられており、建設工事からの危険、苦渋作業の解消のために最先端のITやロボット技術の活用について、産官学で連携をとりながら、今後国として積極的に取組んでいく方針が示されていることを付記する。

2. 遠隔操作ロボット等による施工技術の開発

(1) 研究開発の目標

遠隔操作ロボット等による施工技術の開発では、土工作业におけるバックホウとダンプトラックによる土砂の掘削、積込み、運搬を行う施工工程を主な対象とし、この施工工程において、ロボット化されたバックホウやダンプトラックが、現場の施工状況を自律的に判断して作業を進めていくために必要な技術（施工ロボットのハードウェア、ソフトウェア、施工技術（設計、施工プロセス、作業計画を含む））の開発を行う計画としている（図-1）。

遠隔操作ロボット等による施工技術の開発目標は以下のように設定している。

- ① 作業装置自動動作、単独ロボット作業、ロボット組み合わせ作業のそれぞれのレベルにおける操作制御アルゴリズムの設計手法の提案
- ② ロボットによる自動施工プロセスを含むマンマシン（人と機械）協調型ロボット施工システムの設計手法の提案
- ③ プロトタイプシステムを構築するための要素技術の開発
 - ・施工状況計測システム
 - ・遠隔操作環境
 - ・施工ロボットベースマシン
 - ・ロボット制御ソフトウェア

(2) 現場センサー等を活用した施工状況の計測技術の開発

(a) 施工状況計測システム

施工状況計測システムとは、ロボット施工において、ロボット自身（あるいは部分的には遠隔操作を担当するオペレータ）が自律してその時点の施工状況について認識するとともに、次の作業（動作）計画を立案し、作業を進めていくために必要となる施工状況を計測するシステムである。計測の対象は、ロボット施工時の施工対象（掘削対象地盤、盛土など）の位置、形状や施工ロボット自身の位置、向きなどである。これらのデータのコンピュータによる情報処理にあたっては、3次元空間データモデルを基本とする施工状況データモデルによって行う。

(b) データ伝達システム

施工ロボットや計測装置と遠隔地に設置された制御装置、オペレータとの間で計測情報や制御情報を適切な速度で伝達して制御を行うために必要となるデータ伝達システムを開発する。既存の無線LAN等を活用したシステムを基本として、ロボット施工に必要な映像やリアルタイムの3次元データを含む施工状況データ、ロボット操作制御データ等を安定して適切な速度で伝達できるシステムとする。

(3) マンマシン協調型の遠隔操作制御技術の開発

(a) 操作制御アルゴリズム

ロボットによる施工プロセスにおいては、各ロボッ

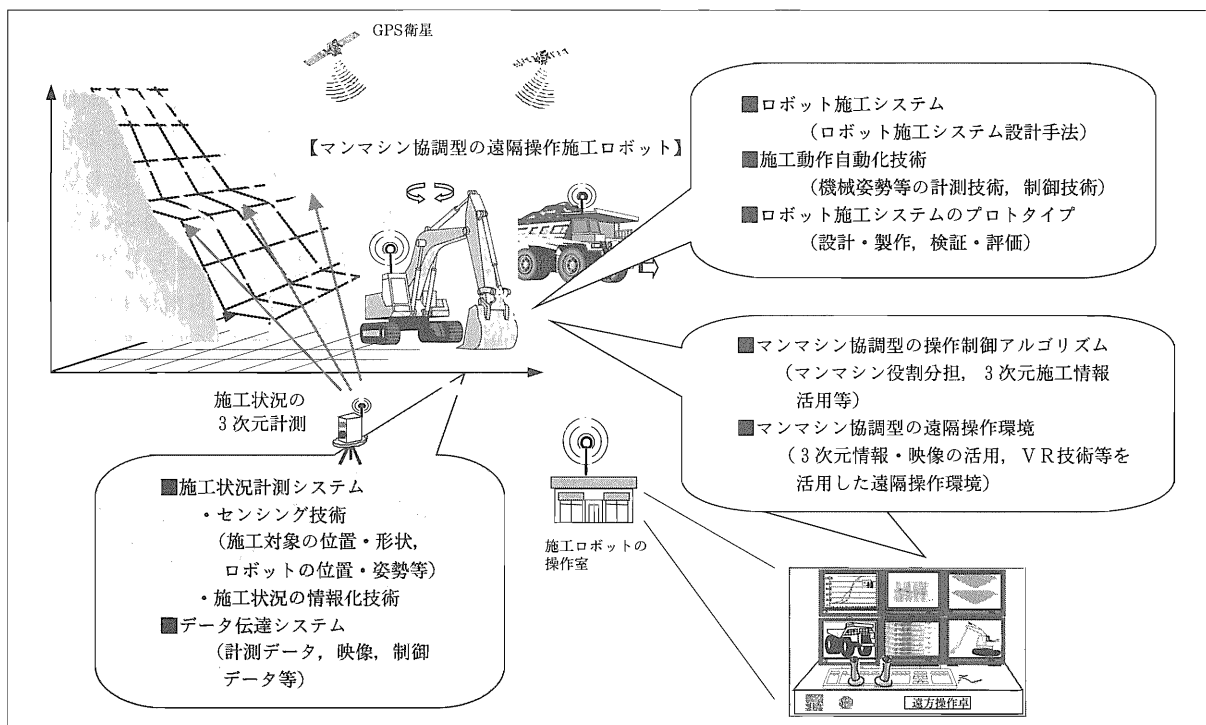


図-1 遠隔操作ロボット等による施工技術の開発の概要

トは「移動」、「掘削」、「積込み」等の要素作業を適切な手順のもとに実行していく。また、個々の要素作業は、「発進」、「停止」や「ブーム上げ」、「アーム引き」等の個々の単位動作の組み合わせで実行される。さらに、個々の単位動作では、掘削負荷等を受けながら「バケットへの土砂取込み」等の目的の動きを行う必要がある。

このように、各々の要素作業を実行するための単位動作の組み合わせ実行手順、単位動作における目的の動きの実行手順を施工ロボットにおいて実現するための操作制御アルゴリズムの開発を行う。なお、アルゴリズムの開発では、対象作業・動作の特徴に応じて、マンマシン（人と機械）の役割分担、3次元情報活用による施工状況把握に配慮しながら検討を進めていく。

(b) 遠隔操作のための技術

施工状況の3次元情報や映像を活用し、遠隔地にいるオペレータが施工ロボットに対して、自動で実施すべき要素作業の指示を与えるための遠隔操作技術を開発する。オペレータに対する情報表示は映像、3次元情報によるVR（バーチャルリアリティ）技術等を活用し、施工状況の把握が容易でオペレータの作業を指示する入力に適したものとする。また、作業指示データがロボット施工のプロセスに対して妥当なものとなっていることを確認するためのシミュレーションを行う機能を有するものとする。

(4) 遠隔操作施工ロボット技術の開発

(a) ロボット施工システム

建設工事はいくつかの施工工程から構成されている。それら各工程は複数の単位作業から構成され、さらに、各単位作業は複数の要素作業から構成されている。本ロボット施工システムでは、その単位作業の実施を考慮しつつ各要素作業を行うロボット施工システムを設計していく必要がある。

工事の単位作業では複数の機械の組み合わせ作業（例：バックホウとダンプトラックによる掘削、積込み、運搬）で実施されることも多いが、ここでは作業分析として単位作業を各々の要素作業に分析し、さらに単位動作レベルまでの分析を行う。これを踏まえて、ロボットによる施工プロセスの構築手法の検討、ロボット施工システムの試設計、さらにその設計手法の検討を行う。

(b) 施工動作自動化技術

建設施工ロボットは、従来からある一般の油圧式の建設機械をベースマシンとして開発を進めることになると考えられる。しかし既存の機種では動作の自動制御のためには油圧制御回路等に課題があり、また、作

業装置の位置や機械の姿勢等について数値によって制御する機能を有していない。そこで、施工動作の自動化を行うための制御が可能となるように、作業装置の位置や機械の姿勢等を計測する機能及びそれらを制御する機能を開発していく予定である。

3. 3次元空間データを用いた施工技術の確立

(1) 土木施工のための3次元空間データ取得管理システムの技術開発

建設機械による土木作業は、起伏、崖地などの複雑な地形の上で盛土など所定の構造物を構築することが多く、そこで遠隔操作により円滑に動作させるためには、位置、形状、方向など3次元空間データを電子情報でとらえ、的確に伝達し、管理する高度な技術が不可欠である。また、これらの技術は、遠隔操作による建設機械の開発に資するだけでなく、同時に全国の一般施工現場での測量、設計、工程管理等業務にも導入し、土木施工業務全体の効率化、コスト縮減、品質向上にも貢献するものと考えられる。

(a) 土木施工のための3次元空間データ取得管理システムの技術開発

工事測量、設計データの3次元空間データを施工で高度利用するとともに、建設機械施工の自動化への導入のために必要な3次元空間データ取得管理モデルを開発するため、次の項目について研究を行う（図-2）。

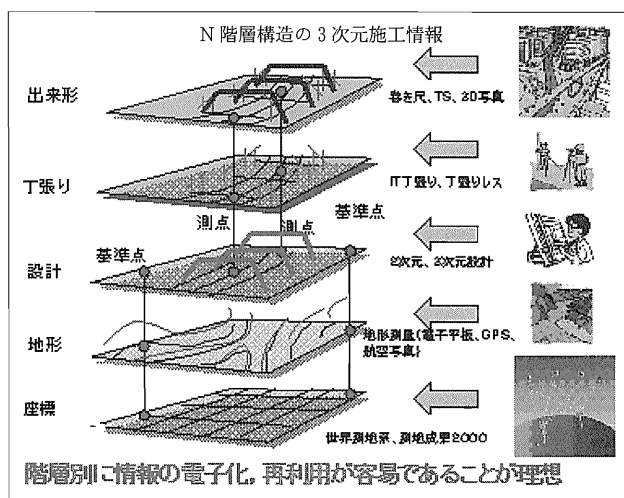


図-2 3次元空間データの統合と高度利用

① 3次元空間データ取得管理システムの開発

土工、舗装工など土木工事の代表的で基本的な工種を対象に、GPS (Global Positioning System)、TS (Total Station)、レーザスキャナなどを用いて地形情報を取得する個別の計測技術を

活用し、設計情報、計測情報、重機制御それぞれのシステム間で相互運用できるデータ取得管理システムの開発を行う。

② 3次元空間データ取得管理システムの改良，対象工種拡大（コンクリート工等）

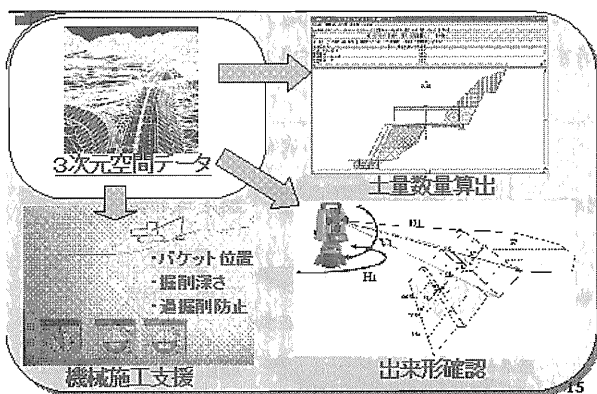
基本工種についての3次元空間データ取得管理システムを拡張し，他工種（コンクリート工，型枠工，鉄筋工，道路付属物工）にも拡大する。品質情報に関する項目については詳しく行わないが，位置，形状モデルに参照付けすることで，品質管理情報の付加価値を高めていく。

③ 3次元空間データ取得管理システム仕様試行，普及促進

3次元空間データ取得管理システムによる建設施工の自動化によって，建設施工全体の効率化を図るため，システム開発の要求仕様を作成するとともに，現地試行実験を行い，普及促進に努めていく。

(b) 土木施工のための3次元空間データ活用システムの技術開発

3次元空間データを活用した地形測量，設計，出来形等の業務プロセスモデルを開発し，建設マネジメント全体の効率化を図る（図—3）。



図—3 3次元空間データ利用効果

① 3次元空間データを用いた効率的な出来形確認，工事数量算出システムの開発

設計情報とともにGPS，TS等を用いた現場計測情報を用いた，効率的で新しい出来形確認手法，

工事数量算出手法を実現するシステムの開発を行う。

② 3次元空間座標等による品質・出来形データの効率的な管理技術の開発

現地から大量に収集できる品質・出来形管理データを効率的に管理する技術の開発を行う。

③ 3次元空間データを利用した作業目標や竣工データの生成技術，既存GISデータ更新技術の開発

設計情報，地形情報の3次元空間データを用いて，建設施工の自動化に活用し，建設機械が行う作業の効率化を図り，作業中の施工情報を記録しておくことで竣工データの生成を効率的に行い，管理情報としてGISデータを更新する技術の開発を行う。

これらの個別技術開発を効率的に促進し，統合していくために，建設施工全体のシステム像（システムアーキテクチャ）の構築を行っていく予定である。

4. おわりに

本論文では，国土交通省におけるロボット等によるIT施工システムに関するこれからの技術開発の取組みについて，その概要を紹介した。本研究において開発を進めていくロボット技術については，プロトタイプシステムを製作し，施工現場での試験等により機能の検証ならびにその評価を行っていきたいと考えている。

本プロジェクトで研究開発される技術を活用していくことにより，建設施工の遠隔操作や自動化が一層促進され，作業者が危険地等における苦渋作業から開放されていくとともに，防災や緊急対応におけるロボット等の活用が国民の公共の福祉の向上に貢献することも期待しているところである。

JCMA

【筆者紹介】

星隈 順一（ほしくま じゅんいち）
国土交通省
建設施工企画課
課長補佐

