

総合技術開発プロジェクト

ロボット等による IT 施工システムの開発

国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター 情報基盤研究室

(独) 土木研究所 つくば中央研究所 技術推進本部 先端技術チーム

1. はじめに

土木施工は、劣悪な作業環境であり危険・苦渋作業がいまだに存在している。また、他産業に比べて IT の導入が遅れており、業務の効率化、コストの低減、品質向上のための技術開発が求められている。国土交通省では、2003 年度より 2007 年度までの 5 ヶ年の計画で総合技術開発プロジェクトとして「ロボット等による IT 施工システムの開発」を実施した。本プロジェクトでは、最先端の情報通信技術(IT)とロボット技術(RT)を活用し、土木施工における危険・苦渋作業の解消や非効率な作業の改善などの課題に対処するため、「建設機械の IT 施工技術の開発」および「3 次元情報を用いた施工管理技術の開発」を実施した。研究目標としては、土工を対象に IT や RT を活用して、設計や地形の 3 次元情報を用いた、出来形管理・検査などの施工管理と建設機械の操作支援や自動化などの IT 施工を実現することとした。(図 1 参照)



図 1 ロボット等による IT 施工システムの開発イメージ

2. 3次元情報を用いた施工管理技術の開発

「3次元情報を用いた施工管理技術の開発」は、施工管理情報として3次元設計データと3次元で得られる地形情報により、効率的な施工管理を行うことを目的に、ロボット建設機械に搭載するための面的な施工管理が可能となる施工管理データの構築、3次元情報に対応した出来形管理の要領や手引きの作成、民間におけるトータルステーション開発するために必要な開発要求仕様書の作成を実施した。

2003年度は、IT施工システムの前提となる3次元設計情報を主軸とした、設計照査、出来形管理、監督検査などIT施工による受発注者間の業務改善の提案、CAD～計測機器間で設計・施工情報を共有する情報モデルの構築、3次元情報を活用した丁張り設置、出来形管理手法について実証実験（直轄3現場、高知県）により確立した。また、座標計算などの準備作業時間の短縮効果を明らかにし、施工現場における3次元設計情報の有効性を確認した。2004年度は、既存の3次元測量技術（GPS、トータルステーション、3次元スキャナー等）を調査した結果、トータルステーション（TS）による出来形管理が非常に有効であることが確認された。また、測量機器に搭載する基本設計情報で、構造物の道路線形や幅員などの設計仕様と骨格構造のうち、横断面形状の情報モデルで断面前後の接合面に矛盾が生じないように改良をした。2005年度は、一般施工現場における導入を目指し、基本設計情報を搭載したTSによる出来形管理の現場試行を全国6ヶ所において実施した。現場試行においては、3次元設計情報の作成、現地での3次元設計情報と出来形計測結果の比較、出来形管理帳票の自動作成という一連の手順について検証した。

3次元情報を用いた施工管理技術の開発は、3つの研究成果を得ることができたと考えている。1つめは、形状構造要素、設計基準要素、基本座標系要素から構成される基本設計情報を定義することで、施工現場でのTSによる出来形管理に応用できる3次元設計情報仕様

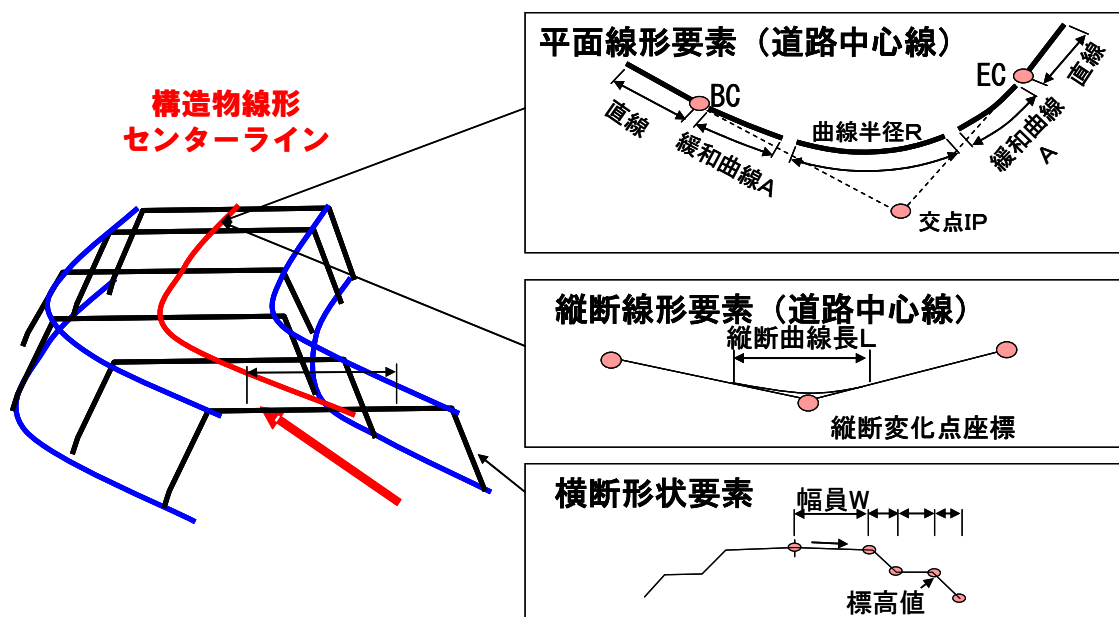


図2 3次元設計情報

の構築ができた。(図2参照) また、定義した基本設計情報をもとに、ロボット建設機械に必要な3次元設計情報を3次元空間データ交換仕様(スケルトンデータ)としてとりまとめることができた。次に、基本設計情報を搭載したTSによる新たな出来形計測方法を決定することで3次元設計情報に対応した出来形管理技術・完成検査技術を開発することができた。(図3参照) 新方法では、道路中心線からの離れ距離と比高差から現行と同様の法長・小段幅の長さ・高さを計算し、設計値・実測値の差を現地で確認することができるようになった。また、TSによる計測は、レベル・巻尺より作業効率が高いため、従来方法と同じ作業時間で、より多くの計測箇所を測ることができることを確認することができた。最後に、現場試行の結果から、出来形管理を行うためのTSに必要な条件をハードウェア要件とソフトウェア要件として整理し、測量機器メーカーが機器開発を行えるように3次元情報対応の概要機器の開発目標として仕様書を取りまとめた。

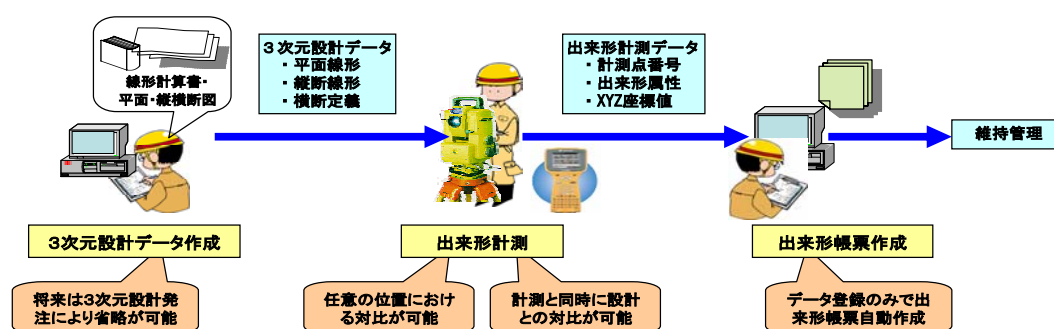


図3 トータルステーションを用いた出来形管理技術

3. 建設機械のIT施工技術の開発

建設機械のIT施工技術の実用化を目的として、その基盤となる要素技術を開発する。具体的には、3次元設計情報と施工状況により変化する3次元地形情報を操作画面上に表示し、画面上で作業位置や作業内容などの簡単な指示情報を与える技術を開発する。さらに、これを通常の建設機械における施工効率を向上させるための作業支援システムとして導入するとともに、ITやロボット技術を活用して施工を自動的に行う油圧ショベル等のロボット建設機械によるIT施工技術の開発を目指すものである。

研究対象は、災害復旧や災害防止事業(砂防事業など)の非常に危険な工事現場の土工作業において、代表的汎用建設機械である油圧ショベルとクローラダンプによる土砂掘削、積込、運搬を行う施工工程に必要な技術とし、IT・RTを、現実的な範囲で最大限導入する、基盤技術に取り組んだ。これを、プロトタイプシステムとして模擬現場試験で検証する。また、ここで提起される課題は、今後につながるものと考えた。

研究開発は、技術の熟度と実現性から、2段階を想定して行った。

①第1段階として、建設機械のオペレータ(遠隔操縦等)に、作業の目標(設計)と現況(地形)の3次元情報と自機の位置などを提示して、作業を支援するシステムの開発を目指す。本システムは、無人化施工の現場などで早期に実用化する技術を目指す。

②第2段階として、遠隔でオペレータが作業位置・範囲・内容などの簡単な作業指示を行うと、作業の目標（設計）と現況（地形）の3次元情報を基にある程度の自律作業を行うロボット建設機械のプロトタイプを目指す。

ここで言うある程度とは、大きな岩があるなど想定外の状況が発生し自律作業が困難な場合は、オペレータが介入して遠隔操作を行うことである。また自律作業とは、油圧ショベルのバケットやブームなどの作業装置について、動作を計画し状況により計画を修正しながら掘削・積込動作を自律して行うことである。

本研究開発では、設計形状の3次元情報（国総研で開発のデータ構造）をもとに、作業中に変化する地形形状を計測し、これに応じた掘削積込動作を計画して機械を制御し、熟練オペレータの施工精度と速度と概ね同等の自律作業ができることを目標とした。

この目標の実現のために、大別して、①自律施工に必要な3次元情報として周囲環境を認識する技術、②操作に必要な3次元情報を表示する技術（マンマシンインターフェイス）、③施工動作の自動化技術（制御技術）の開発を行った。

ここでは、土質地盤条件が研究所構内実験場でほぼ一定であること、作業内容は溝掘削積込であること、作業形状は設計情報によること、作業範囲は設定によること、移動は遠隔操作によることが限定条件となっている。開発したプロトタイプ概念図を図4に、油圧ショベルの外観及び使用センサ類の取付図を図5に示す。

本研究開発での基本的なコンセプトは、先端の技術の粋を集めて高価でもよいから目標を達成すれば良いとするのではなく、最低限の目標機能を達成すべく、要素技術は特別なものは用いず、なるべく枯れた技術で、なるべく安価になりうることを期待する構成とした。技術進展の早い分野でもあるため、機能はサブシステムやコンポーネントに分割し、さらに高機能なものか安価なものに換装が容易で、サブシステムやコンポーネントごとの技術転用をしやすい構成とした。開発にあつては、年限もあり、模型実験を省略し、当初から実際の建設機械にて実施した。ベースマシンとなる油圧ショベルは、実験時には小さめ、機器搭載能力では大きめ、のところから12t級を用いることとした。また、実験機ではあるが安全対策として、緊急停止装置や通信を監視すること等を厳重に実施している。

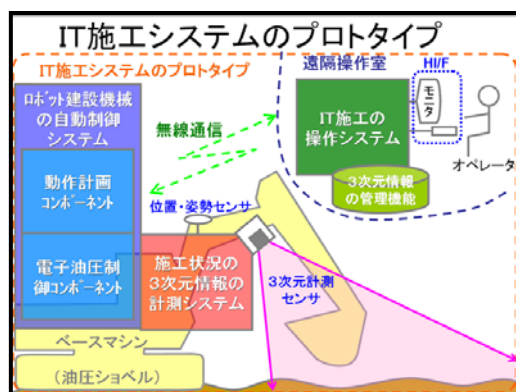


図4 システムの概念図



図5 油圧ショベル外観とセンサ取付図

4. ロボット建設機械のプロトタイプによる検証

油圧ショベルとクローラダンプによる掘削・積込の機械土工の作業を対象として、ロボット建設機械のプロトタイプで構内模擬現場実験を行い、機能を検証した。(写真 1、写真 2) クローラダンプにぶつけない確実な動作のためにサイクルタイムは、荒堀掘削で 40 秒、仕上げ掘削で 50 秒を要することになったが、仕上げ精度は 5 cm に収まり、基盤技術としての検証・確認ができたと考えている。課題としては、スムーズな動作とサイクルタイムの短縮、掬いきれない土砂がバケットからこぼれることへの対処等があった。



写真 1 掘削積込状況



写真 2 溝掘削後の状況

5. おわりに

本プロジェクトでは、土工を対象に IT や RT を活用して、設計や地形の 3 次元情報を用いた、出来形管理・検査などの施工管理と、建設機械の操作支援や自動化などの IT 施工を実現することができた。

3 次元情報を用いた施工管理技術の今後の取組としては、土工以外の工種へ出来形管理技術を展開や TS 以外の計測機器として RTK-GPS を用いた出来形管理技術の実現がある。また、出来形管理技術を施工以外でも活用することで情報流通を支援する必要がある。

建設機械の IT 施工技術の今後の取組としては、多様な土質条件と作業内容への対応が可能であり、機能の拡張が容易なことを示すものとする。技術的には、地盤特性をリアルタイムで評価し動作計画と制御に反映すること、拡張容易な動作計画自動生成ルール記述方法の一般化である。また、自律機能・計測機能を活用する、操作支援や特に施工方法のあり方自体を明らかにする必要がある。

謝辞：本研究を実施するにあたり国土交通省、ロボット等による IT 施工システム研究委員会（委員長：筑波大学油田教授）、（中）測量機器工業会、（社）日本建設機械化協会、（財）先端建設技術センター、土木学会建設用ロボット委員会、建設無人化施工協会をはじめ多くの方々にご指導頂きました。お礼申し上げます。また実験にご協力いただいた方々に感謝いたします。