

情報通信技術・ロボット技術による土木施工高度化

吉田 正

1. はじめに

土木施工の分野における情報通信技術（ICT）の活用においては、社会の情報化が進展した1980年代から様々な取組みがなされてきたが、2008年の国土交通省の「情報化施工推進戦略」¹⁾策定以降、本格的な実用化の段階を迎えつつある。また、ロボット技術関連では、これまでも建設機械の自動化や遠隔操縦により危険箇所での施工を行う無人化施工技術などが開発・活用されてきているが、最近の高度なセンサー技術や制御技術を駆使するロボット技術の進展により構造物の点検や災害対応において新たな機能・形態を持つ現場作業用のロボットの実用化が期待されている。

本稿では、土木施工の分野において今後のイノベーションのカギを握ると期待される「情報化施工」と「ロボット技術」に関して、現在の技術開発と実用化の動向を紹介するとともに、今後の高度化の展望と課題について述べる。

2. 土木施工を変革する「情報化施工」

2.1 情報化施工の進展

土木施工の分野では、「土と岩の不確実性」に対応するために、例えばNATM工法のように施工中の現場計測から得られた新しい情報によって事前の設計を常に見直しながら施工をする「観測施工」という技術が比較的以前から取り組まれてきた²⁾。

一方、我が国では2000年前後よりパソコンや携帯電話、インターネットが急速に普及し、土木施工の現場においても業務の効率化や省力化を目指してICTの導入が進められた。

最近では、前述の「観測施工」のような工事の根幹的な役割を果たす場合に限らず、施工の品質管理や出来形管理等の合理化・効率化、コスト低減、工期短縮など施工のマネジメントの改善、さらには建設機械の運転操作支援や自動化など、

様々な目的でICTが活用されるようになり、現場の施工方法、施工形態に大きな変革をもたらしつつある。

「情報化施工推進戦略」では、情報化施工は、「建設事業の調査・設計・施工・維持管理という建設生産プロセスのうち“施工”に着目して、ICTの活用により各プロセスから得られる電子情報を活用して高効率・高精度な施工を実現し、さらに施工で得られる電子情報を他のプロセスで活用することによって、建設生産プロセス全体における生産性の向上や品質の確保を図ることを目的とした技術である」とされている。情報化施工は「観測施工」のみならず、施工あるいは一連の建設生産プロセスでICTを活用した改善を実現する広範な技術として期待されている。

2.2 情報化施工の進展をもたらした基本技術

屋外環境での情報化が可能になった背景としては、屋外・モバイル対応パソコンやデータ通信環境などが性能・コストともに実用的なレベルになってきた点があると考えられる。

しかし、土木施工の情報化という点では、土木施工が現場の所定の位置に、所定の形状・品質の構造物を構築する活動であることから、その作業の効率化や品質の向上を目指す上では、①位置特定や計測（測量）を情報化する技術、②構造物をつくる（施工）作業の施工管理を情報化する技術、③構造物をつくる建設機械の操作・制御を支援する技術などが実用化されたことが不可欠の要因であると考えられる。主なものを以下に紹介する。

2.2.1 位置特定や計測（測量）を情報化する技術

屋外の現場で位置特定や測量を行う情報化技術として、トータルステーション（TS）と衛星測位システム（GNSS）が実用化・進展したことが施工の情報化に大きく寄与している。

TSは、距離を測る光波距離計と角度を測るセオドライトの機能を併せ持ち、計測対象の現場内の3次元座標を数mmの精度で瞬時に計測できる。GNSS（Global Navigation Satellite System）は、米国のGPS、ロシアのGLONASS等も含む衛

星測位システムの総称である。近年、電子基準点のデータを利用することで現場内に基地局を設置することなく2~3cmの精度で3次元の位置を計測できるようになっている。両者とも、リアルタイムに移動体の位置情報を電子化して取得・処理出来るが、目的、工種、現場条件などにより使い分けられる。

2.2.2 構造物をつくる（施工）作業の施工管理を情報化する技術

現場で構造物を施工する上では、設計で意図された機能を発揮する構造物が所定の位置に所定の品質・形状で出来上がるように、日々施工管理が行われる。様々な項目の計測が施工の工程の合間あるいは途中で実施され目標値や基準との整合がチェックされ、記録が整理される。

情報化施工では、前述のTSやGNSS、その他の情報機器、システムを活用して施工管理を合理的に行うアプリケーションが実用化されている。以下にその例を紹介する。

(1) TSによる出来形管理技術

本技術は、従来トランシットやスタッフ、巻き尺等に依っていたところを、TSを用いて測点の位置を計測し、あらかじめ入力された目標値とその場で比較、チェックし記録することが出来るものである。現場で野帳へ記録したり後で浄書したりする手間が不要になり、ミスが減るなど現場技術者にとってのメリットも大きい。



(2) ローラの軌跡管理による締固め管理技術

TSまたはGNSSにより施工時のローラ走行軌跡を計測し、締固め対象区域の転圧状況（転圧回数）を管理することで締固め品質を確保するものである。従来のサンプリングによる管理に比べて、面的な管理による均一な締固めが期待できる。



図-2 ローラの軌跡管理による締固め管理技術(例)

2.2.3 構造物をつくる建設機械の操作・制御を支援する技術

建設機械を用いて構造物を施工する際には、オペレータは施工箇所近傍に設置された丁張りを目標に機械の操作を行う。従って通常、機械で施工する前に必ず目標となる丁張りを設置する段取りが必要で、時間と手間を要している。

これに対して、建設機械に現場の施工目標（丁張り）データと機械の作業装置の状態を表示できる車載システムを備えて、オペレータが外部の丁張りではなく、運転席での表示情報に基づいて操作を行うことが出来るシステムが実用化されている（油圧ショベル等のマシンガイダンス）。さらに、施工目標データに対して作業装置の位置・姿勢を自動制御する機能を持ったシステムも開発されている（グレーダ等のマシンコントロール）。

このような技術を活用することで土工の敷き均し施工、切土・盛土施工などで丁張りレスによる施工が可能となっており、今後の普及により施工の手順・形態が大きく変わる可能性がある。



図-3 マシンコントロールの活用による施工の流れ

3. 現場作業を変革する「ロボット技術」

3.1 建設機械の遠隔操作化・自動化

建設機械のはじまりは、人手に代わって動力を用いて大量の仕事を行うものであったが、その後現場の要請に応じて技術開発が重ねられてきた。

遠隔操作化、自動化という面では、例えば、シールド工事は地中の閉塞された空間での過酷な作業であったが、機械化・自動化の取り組みが続けられ、掘削からズリの搬出、セグメントの搬入・組み立てなど一連の工程の自動化が進められ、作業の効率化と作業員の苦渋作業からの解放が図られてきた。また、ニューマチックケーソン工事においては、従前は高気圧となるケーソンの作業室内に人が入って作業を行っていたところを、その作業をすべて遠隔操作式の機械で行い人が作業室内に入らずに済むシステムが実用化されている。

このように、危険・苦渋作業から作業員を解放するという強い要請がある工種では、自動化や遠隔操作化などの技術開発が進んでいる。

油圧ショベル等の汎用的な機械を使用する多くの工種では、今のところ前述の情報化施工のマシンコントロールや次項の無人化施工技術が実用段階の技術として注目される。

3.2 無人化施工技術

無人化施工技術は、災害現場など危険区域内で工事を行う際にその区域内を無人にして、遠隔操作装置等を取り付けた建設機械群をオペレータが安全な遠隔地から操作して施工を行うものである。映像システムなどを駆使した遠隔操縦により土工、砂防堰堤工、護床工・根固め工など様々な施工を実現する本技術は、世界に類を見ない。



図-4 無人化施工技術 (写真提供：熊谷組)

現在の無人化施工技術は、1994年に雲仙普賢岳の災害復旧工事のために行われた試験フィールド事業がスタートで、以降、雲仙の災害対策工事で継続して実施され、技術が確立、発展してきた。本技術はその後の全国各地の災害復旧で必要とされ、最近では、2011年の紀伊半島大水害の河道閉塞対応などでも成果をあげている。また、東日本大震災の福島第一原子力発電所の事故対応では、初期段階のがれき処理等から本技術が重要な役割を果たしている。

3.3 インフラ維持管理及び災害対応へのロボット技術活用

河川、道路等の構造物の点検では、点検員による近接目視あるいは点検ハンマーを用いた打音検査が基本となっている。最近では、構造物点検のための新技術の開発に各方面で取り組まれているが、現在のところ多くの場合、人手に依っているのが実情である。しかし、老朽化した施設が急増する時代を迎え、多くの施設の点検作業を効率的に行いそのコストを抑えることの出来る技術開発が喫緊の課題となってきている。

さらに、近年頻発する豪雨災害、土砂災害への迅速な対応を図るためにも最新のロボット技術を活用した災害調査・応急復旧技術の開発・導入が求められている。

一方、最近の電子・電気・機械等の技術の進展により、現場の移動ロボットに搭載可能な小型、高性能な機器類（GNSS、カメラ、ジャイロ、バッテリー等）が現実的な価格・性能で提供されるようになり、従前は困難であったことが実用レベルで実施できるようになってきている。例えば、電動のマルチコプター（無人機）により、災害現場の被災状況を上空から高精細な映像で撮影し災害復旧作業を支援することが可能となっている。

国土交通省と経済産業省では、2013年度よりこのような最新のロボット技術を駆使して構造物の点検や災害時の対応を実施できる社会インフラ用ロボットの技術開発と現場での検証評価を進めている。また、2014年には政府のS I P（戦略的イノベーション創造プログラム）³⁾の課題としても、各種の橋梁等の点検診断ロボットのほか、災害現場における半水中作業システムの研究開発が開始されている。

4. 今後の展望、課題

4.1 今後のICT、ロボット技術活用への期待

50年先を推測することは困難なことであるが、情報化施工やロボット技術活用に対する要請、ニーズは、現在の工事品質向上、コスト縮減をはじめ、危険苦渋作業の解消、災害時の迅速な応急対応など将来も変わらないものと思われる。

特に、将来に向けて、我が国では人口減少と高齢化がますます進み、生産年齢人口（15～64歳）は50年間で概ね半減すると推測されている。建設現場では、工事に従事する建設従事者、熟練技術者の不足が深刻になると予想される。一方、維持管理すべき社会インフラのストックは今後も増加しその老朽化も着実に進むため、限られた予算で必要なインフラ維持管理を実施できるかどうか大きな課題となると考えられる。

このような状況を考えると、施工プロセスを変革しコスト縮減や現場作業の省人化を実現できる可能性を持つ情報化施工やロボット技術の活用への期待は大きいものがある。

4.2 情報化施工、ロボット技術の連携・融合

近年の情報化施工では、CIM（Construction Information Modeling）⁴⁾の3次元モデルで提供されるデータの活用が課題として取り組まれている。また、最近では現場状況を3次元レーザスキャナやMMS（モバイルマッピングシステム）により3次元点群データとして取得し、3次元情報として処理する技術が開発され注目されている。

一方、ロボット技術では、例えば原発事故対応の無人化施工で、がれき搬送機械の自律走行システムが開発され、GPSとレーザスキャナによる自己位置・姿勢認識、周囲の障害物認識を行い安全で安定した自律走行を実現している⁵⁾。

上述の二つの例とも、現場状況を電子情報として計測・把握し活用するという点では共通である。

実は情報化施工のマシンコントロールによる丁張りレスの施工は、人が運転する機械に自動化というロボットの要素技術を導入したものである。情報化施工とロボット施工は相互に共通する領域の大きい技術分野であり、将来は連携・融合した形で進展していくものと思われる。

4.3 一連の建設プロセスの中で情報のさらなる高度利用を行う手法の開発

情報化施工では、施工で得られる情報を、設計や維持管理など他のプロセスで活用することで生産性向上や品質確保を図るとされているが、現状では他のプロセスでの活用については研究が進んでいない面がある。特に今後の長期にわたるインフラ維持管理の時代には施工時の情報を維持管理に的確に役立てるための手法が求められる。例えば、施工品質に関するトレーサビリティを維持管理プロセスでどのように活用するかという手法を、CIMとの連携を図りつつ開発していくことが重要な課題であると思われる。

5. おわりに

本稿では、情報化施工とロボット技術の活用について、主に土木施工の段階に焦点をあてて現状と今後の展望、課題について報告した。

情報通信技術、ロボット技術とも広範な技術分野であり、今後とも急速な発展が続くと考えられる。モバイル通信の超高速化やパワーアシストスーツのような新しいロボット技術の進展など目を見張る技術開発が進んでいる。これらの活用で施工プロセスあるいは建設プロセス全体を通じてどのような効果を得ることができるのか、常に新しい目で捉え研究していくことが肝要と考える。

参考文献

- 1) 情報化施工推進会議：情報化施工推進戦略、2008.7、2013.3
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_fr_000015.html
- 2) 鈴木明人：情報化施工入門、32p、工学図書、2004
- 3) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム、
<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>
- 4) 国土交通省：CIMの概要、
<http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/cimnogaiyou.pdf>
- 5) 三浦悟、黒沼出、浜本研一：放射線環境下における建設機械の自動運転システム、平成26年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集、2014

吉田 正



(独)土木研究所つくば中央研究所
技術推進本部長
Tadashi YOSHIDA

