特集≫≫　建設の情報化，無人化，ロボット化

情報化施工の現状と将来展望

建　山　和　由

2008 年，情報化施工を普及させるために情報化施工推進戦略が示され，その推進に向けた取り組みが始められた。5 年間の取り組みを通じて，情報化施工の認知は進んだが，さらなる普及と展開を進めるためには情報化施工を「使う」から「活かす」取り組みに移行していくことが求められる。本稿では，情報化施工を「活かす」という視点から，精緻な管理による施工の合理化と環境負荷低減の実現，3D スキャナ技術を利用した道路面の劣化状況の把握と道路のマネジメント技術の確立，建設ロボットへの組み込みによる無人化施工技術の高度化の 3 つの事例を通じ，情報化施工を効果的に導入し得ることを紹介する。
キーワード：情報化施工，ICT，環境負荷，マネジメント，無人化施工

1. はじめに

建設施工における生産性の向上，品質の確保，工事における安全性の向上，熟練労働者不足への対応など，建設施工が直面している諸課題への対応策として情報化施工の普及をはかるべく，2008 年 2 月，国土交通省に「情報化施工推進会議」が設けられた。この会議では，情報化施工の普及・推進に向けて，その方針と具体的な施策をまとめた「情報化施工推進戦略（第 1 期）」が策定され，これに基づき，5 年間にわたり情報化施工の普及と推進に向けた様々な取り組みが議論されてきた。

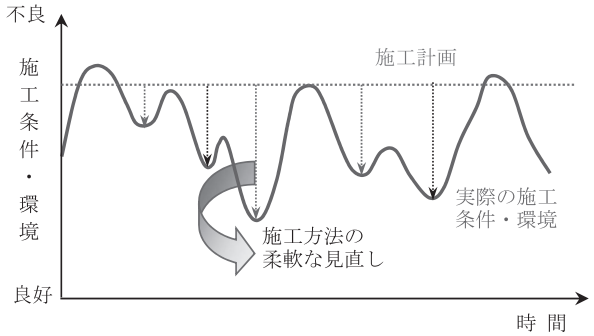
この推進戦略では，当初，情報化施工自体が必ずしも認識されていない状況の中，マシンガイダンス（MG）やマシンコントロール（MC）などの機械の操作性の改善に寄与する技術や土工における TS 出来形管理技術を一般的な技術とすべくその普及に努め，実施工での導入事例を増やしてきた。その結果，第 1 期の 5 年間の取り組みを通じ，情報化施工に対する認知は高まったと言えるが，必ずしもその導入効果が強く認識されている訳ではない。このため，第 2 期の情報化施工推進戦略（2013 年～ 2017 年）では，情報化施工を活用して，本来の目的を獲得することを重視することになった[1)]。すなわち，「使う」から「活かす」への進化を目指していくことになる。

本稿では，「情報化施工の技術を活かす」ための手法を考える上で参考になることを期待し，情報化施工を有効に導入した具体的な事例を紹介する。

2. ICT を活用した精緻な管理

20 世紀の社会基盤整備では，構造物の設計の考え方を体系化し，施工における規準やマニュアルを徹底して整備してきた。そのおかげで，我が国は他に類をみないほど効率的に所定の品質の社会基盤整備を達成することができた。このことは規準やマニュアルによる一律管理の疑うべくもない成果といえる。しかしながら，一律管理は，一方で不確定要因に起因する無駄を避けることができないという課題を孕んでいる。すなわち一般の建設工事では，天候や地質のばらつきに代表される不確定要因の存在を前提に構造物の施工計画を作成せざるを得ないため，その影響をも包含した基準やマニュアルに従い，余裕を持った計画を立てることになる。しかし，現場の施工条件や作業環境に余裕がある場合には，当初の計画通りに施工を行うと必要以上の資材やエネルギーを投入することになる。このような場合には，現場の状況をいち早く把握し，施工方法を柔軟に見直して，より精緻な施工を行うことにより，必要以上の資材やエネルギーの投入を抑えることができる[2)]。**図―1** は，この考え方のイメージを図示したものである。

限られた資源の有効利用や工事に伴う環境への影響軽減，構造物の品質の向上に関する要求が高まる今日，規準やマニュアルに従う一律管理だけではこれらの要求に十分には応えることができず，規準やマニュアルを標準としつつも，それらに過度に依存することなく現場の状況に応じて柔軟に対応することでより精

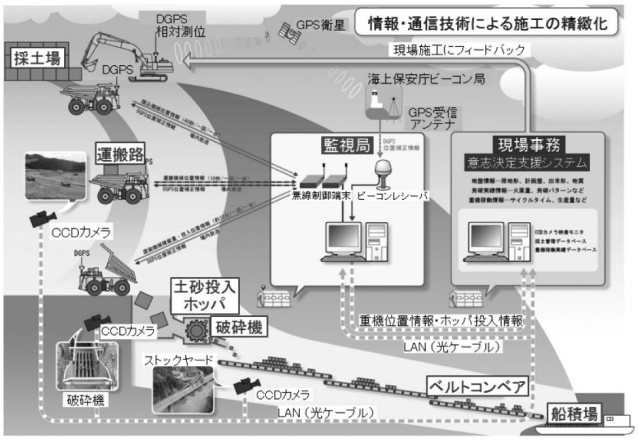


図―1　情報を利用した柔軟な対応のイメージ

緻な工事を行うことが求められる。情報化施工は，各種センサを含むICTを利用して現場の状況を正確に把握して，個々の現場に応じた精緻な施工を行う機能を有している。以下，この考えに従い，情報化施工のツールを現場に導入し，成果を挙げた事例を紹介する。

(1) 大規模土工における効率化の事例

ここで紹介する事例は，大規模人工島造成のための土取り工事である。この現場では，山側の採土地で発破，もしくは油圧ショベルにより土岩を掘削し，ブルドーザで集土した後，油圧ショベルもしくはホイールローダで重ダンプトラックに積み込み，採土場下端にある破砕機まで搬送する。破砕機に投入された大きな岩塊は200 mm以下の土砂にまで破砕され，ベルトコンベアでストックヤードまで運ばれる。ストックヤードの床には土砂の引き出し口があり，ここから引き出された土砂はベルトコンベアで積み出し桟橋まで運ばれ，土運船に積み込まれる（**図―2**参照）[3]。

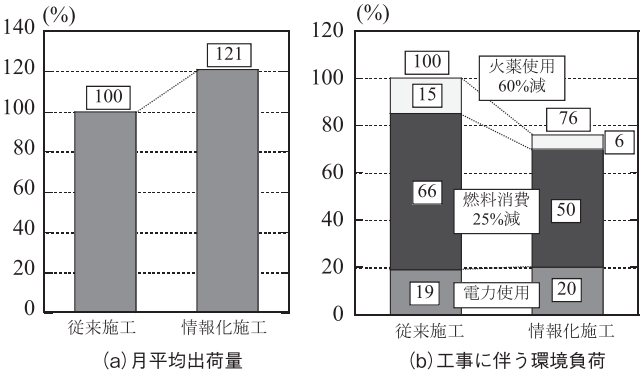


図―2　大規模土取り工事の施工プロセスと導入された情報通信機器

一般に採土工事における施工効率は，工事の進捗と共に時々刻々変化する地質や地形，天候と共に，機械の能力，オペレータの技能にも左右される。施工効率を向上させるには，これらの要因の変化に対応して採土場所や重機の配置，発破の薬量と削孔パターンを柔軟に変更していく必要がある。そのためには，現場の情報をリアルタイムで収集し，現場の技術者が的確な判断を行い得る仕組みを作る必要がある。この現場では，重機の位置や稼働状況をリアルタイムで把握するシステムを導入し，時々刻々変化する現場の作業状況を的確に把握すると共に，現場の技術者がそれを共有する仕組みを導入した。

これにより，技術者はどこにいても現場の状況を把握することができ，かつ共通の情報を基に施工の改善を議論することができるようになった。このシステムを利用して，この現場では，重機や爆薬の使用に関する施工方法を現場の条件に応じて精緻に見直すことにより，資材やエネルギーに関し必要最小限の入力で所定の工事を行うことができる体制を整えていった。

この結果，**図―3**（a）に示すように，月平均採土量として約21％の増産を図るとともに，必要以上の重機や火薬の使用を省くことにより，施工に伴う環境負荷を二酸化炭素の排出量に換算して約24％削減することに成功した（**図―3**（b）参照）。



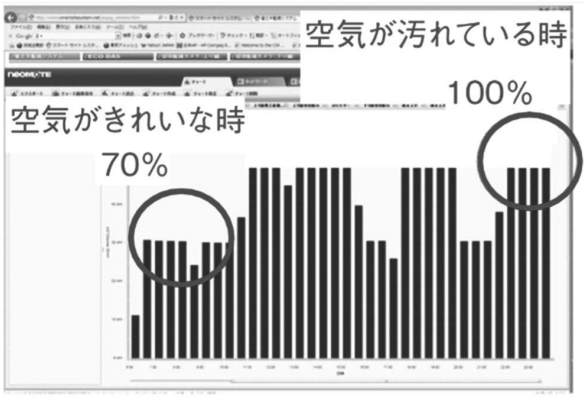
(a) 月平均出荷量　　(b) 工事に伴う環境負荷

図―3　情報化施工の導入効果

(2) トンネル工事への導入と効果

トンネル工事では，坑内の作業環境を保つために換気を行わなければならない。換気は大型のファンを使い坑内外の空気を循環させることにより行うが，ファンは恒常的に動かしておくことになる。しかし，坑内の空気環境は，発破や吹き付け，ズリ出しなどの作業中とそれ以外の作業中では，空気の汚れ具合が異なるため，ある現場ではCO_2，粉塵量，酸素濃度，有毒ガス等の計測結果，坑内の作業内容に応じて換気設備の風量を調整した。**図―4**はそのイメージ図である。坑内の空気が汚れているときは100％の出力で，汚れが少ないときには70％の出力で送風量を制御することにより，換気設備のエネルギーを15％削減することに成功した[4]。

情報化施工の導入により現場の状況に応じて施工法



図―４　坑内空気環境に応じた送風量の制御

を精緻に管理する方法は，一般に施工の効率化だけでなく，施工に伴う環境負荷低減効果をもたらしてくれる。一般の製造業では，既にさまざまな取り組みがなされているため，さらなる省エネルギーを達成するためには多くのコストをかけなければならない状況にあるのに対し，土木の分野で一律管理に個別評価の考え方を取り入れて精緻な管理を行うことにより，生産性の向上と省エネルギーを両立させることができ，着眼次第でまだまだ多くの新しい技術が生まれる可能性を有している。

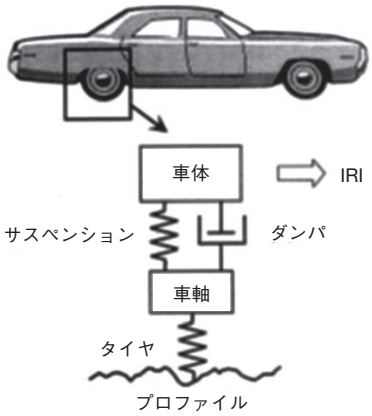
3. インフラのマネジメントにおける ICT の有効利用

ICT 関連技術の進歩には目覚ましいものがある。それらのツールを情報化施工に取り入れ，新たな技術を積極的に開発していく雰囲気作りは，建設技術のさらなる発展にとって極めて重要といえる。その種の技術として注目されているものに 3D レーザスキャナ技術がある。3D レーザスキャナは，対象物を３次元の位置座標が特定された点群データとして把握することができる技術で，建設施工を大きく変える可能性を有している。

図―５は，車載型 3D スキャナである。車両の天井に 3D レーザスキャナとともに GPS アンテナが取り付けられている。通常の車両と同じく道路上を走行し，その際，周辺の３次元の位置座標と対象点の輝度に関する情報を連続的に収集していくことができる。

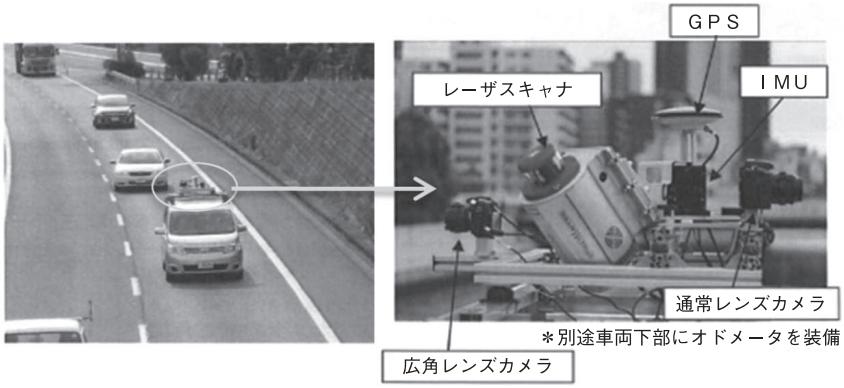
収集したデータは様々な用途に利用することができるが，近年，道路舗装面劣化状況の定量的な評価への利用が検討されている。一般に，道路の乗り心地の国際的な評価指標としては IRI（International Roughness Index）が使われる。この指標値は，**図―６**（a）に示すような特殊な装置を用いて道路面の凹凸に関するプロファイルを計測し，その路面上を車両が走行することを想定したときの車両の上下動の値を**図―６**（b）

（a）路面の凹凸プロファイルの計測装置



（b）IRI 算出のための解析モデル

図―６　路面の乗り心地に関する計測と評価

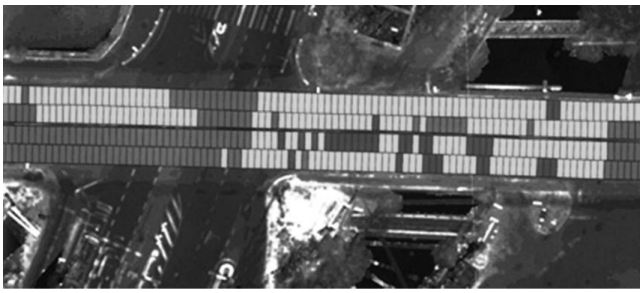


図―５　車載型 3D レーザスキャナ

に示す「仮想振動モデル」で計算し，その総和値を走行距離で除して求められる値である。IRI が大きいほど乗り心地が悪く路面が傷んでいることになる。

車載型 3D レーザスキャナを用いると路面のプロファイルを全面で計測することができるため，IRI 値を容易に算出するとともに，わだちの情報も得ることができるため，乗り心地とわだちの両面から路面の劣化度合いを評価することができる。

図―7 は，ある道路において前述の車載型 3D レーザスキャナを用いて路面の凹凸プロファイルを計測し，IRI 値とわだちの両指標から道路の劣化状況を判定した事例である[5]。このシステムを用いると，路面の劣化状況が所定のエリア毎に色別で段階的に示される。道路面の劣化状況はこの他，表面ひび割れなども含める必要があるが，それをも取り入れることができるようになれば，より高度な管理手法になり得ると思われる。



(a) 道路面の劣化状況の評価結果

IRI ＼ わだち掘れ量		10mm 未満	20m 未満	30mm 未満	40mm 未満	40mm 以上
	2未満	A	A	A	B	C
2以上	4未満	A	A	B	B	C
4以上	6未満	A	A	B	B	C
6以上	8未満	A	B	B	B	C
8以上		B	B	C	C	C

(b) IRI 値とわだち掘れ量による判断基準

図―7　道路面の 3D 情報による舗装管理の事例

4. 建設用ロボット開発との連携

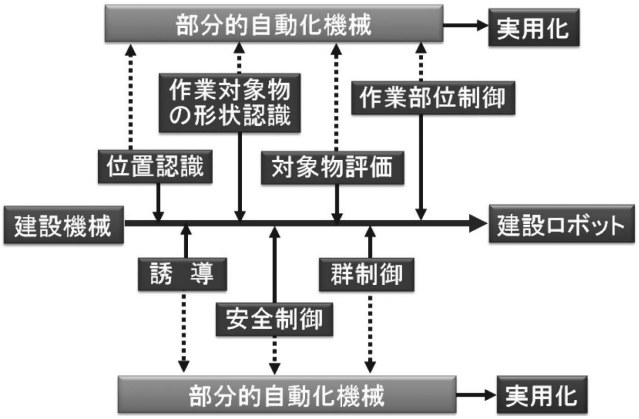
雲仙普賢岳における火砕流災害からの復興事業以後，災害現場における二次災害を防ぐため，離れたところから機械を操作し，所定の工事を行う無人化施工技術が大きく進歩した。その施工効率や施工精度は，オペレータによる実車操作には及ばないものの，新しい技術の導入により年々改善されている。情報化施工技術で普及しているマシンガイダンス（MG）やマシンコントロール（MC）技術の導入もその一つである。

図―8 は，油圧ショベルに 2 セットの GPS，車体

図―8　無人化施工における MG の導入

の傾きを測るピッチセンサ，ブーム・アーム・バケットの傾斜を測る 3 個の傾斜センサを取り付け，それらのセンサから送られてくるデータを用いてコンピュータ上でバケットの姿勢までを算出し，表示するシステムである[6]。この画像情報からオペレータは事前に入力した CAD データに沿ってバケットを操作することができるため，実際に目視できない場所での作業の効率や精度の低下を低減させる効果が期待できる。

もともと情報化施工と建設ロボットの技術は，重なる部分が多く，情報化施工の中には将来の建設ロボット開発の要素技術と考えることができるものも多い。**図―9** は，建設機械が建設ロボットに進化するために必要な機能を示している。広大で，かつ時々刻々変化する現場において，自分の位置座標を正確に把握し，目的地へ機械を誘導する技術，岩や土など不規則性が高い作業対象物の形状や力学特性を把握する技術，作業対象物に応じてマニピュレータなどの作業部位を制御する技術，事故を発生させないための安全管理，多種多様な機械が相互に連携しながら作業を行う



図―9　建設機械から建設ロボットへの進化

群制御技術等である。これまでは，機械のオペレータが担っていたこれらの機能を建設ロボットでは機械が行うことになる[7)]。

これらの機能全てを備えないと厳密には建設ロボットと呼ぶことはできないかもしれないが，建設分野では一部の機能を施工の効率化や品質向上策として開発し，現場に適用してきたと見ることができる。転圧用ローラの走行軌跡による締固め施工管理は位置認識技術の適用事例，また，ブルドーザやモーターグレーダのブレードのMC技術は，作業部位制御の事例と言える。すなわち，建設ロボットの要素技術が情報化施工の技術として現場で実用的に利用され，それを通してより高度な技術になるべく改良が加えられている。今後，これらの技術は，さらなる改良が重ねられ，将来の建設ロボットに活かされていくことと期待している。

5. おわりに

情報化施工を「活かす」ということは，それを導入することにより，施工の効率化，省力化，省エネルギー化，精緻化などの改善効果を確実に得ることといえるが，それを達成するためには，単にこれまでの施工法を情報化施工で置き換えるのではなく，情報化施工の導入により，これまでできなかったことができるようになるような効果を引き出す工夫を追求することが必要と考える。すなわち，人員，工期，予算などの制約がある中でより高い精度や品質の工事が求められるような場合，これまでの手法ではなしえなかったことが，情報化施工を導入することにより可能になるという場面を作ることを念頭に様々な工事への導入を模索することが有効ではないかと考える。「使う」から「活かす」の考えの一般化が強く望まれる。

JCMA

《参考文献》

1）国土交通省・情報化施工推進会議：情報化施工推進戦略～「使う」から「活かす」へ，新たな建設生産の段階へ挑む‼～，2013年3月29日
2）地盤工学会：建設工事における環境保全技術，第8章，2009年
3）建山和由：ITと建設施工― Precision Constructionの試み―建設の機械化，No.625，pp. 3～7，2002年3月号
4）日経コンストラクション，pp.41～44，2011年6月（どうする現場の15％節電）
5）横山隆明，番上勝久，建山和由：車載型移動体3次元計測データを用いた道路維持管理手法の検討について，建設機械と施工法シンポジウム論文集，pp.185-188，2012年
6）北原成郎，周藤健：情報化施工に基づく無人化施工の実施―無人情報化システムの完成―，建設の施工企画，No.694，pp.48-52，2007年12月
7）建山和由：国土を支える建設ロボット，建設コンサルタンツ協会誌，vol.261，pp.20～23，2013年10月

［筆者紹介］
建山　和由（たてやま　かずよし）
立命館大学
理工学部　教授