

情報化が導くスマートな建設現場 —事例紹介—

古 屋 弘

我が国の土木施工における情報化施工は、近年では計測や機械施工の分野で数多く使われるようになった。この背景には、各種センサや解析に用いる PC の高機能化、無線 LAN を含むネットワークの普及とその高速化、GNSS (Global Navigation Satellite System) をはじめとする測量機器の普及と一般化、3D-CAD の普及とそれらを用いたアプリケーションの多様化など、情報化施工を支える基盤技術の進歩によるところは大きい。情報化施工は、このような技術を組み合わせ、マシンコントロールなどにも広く活用されるようになった。

これらを支える施策として、国土交通省では 2008 年度からは「情報化施工推進戦略」が開始され、ICT (Information Communication Technology) の積極的な活用が推進され多くの成果を上げつつある。さらに、2012 年からは ICT の活用を基盤として、建築で実績を上げつつある BIM (Building Information Modeling) を土木分野に拡張した CIM (Construction Information Modeling) も推進され、3次元データを用いた新たな情報化が始まりつつある。

本報では、合理的な施工の実施や品質管理の高度化などにおいて用いられている「情報化施工」のいくつかの事例と、近年のトレンドを紹介する。

キーワード：情報化施工, 3次元データ

1. はじめに

我が国の土木工事における情報化施工は、これまでは先端的な大規模工事の一部に留まっていたが、近年では計測や機械施工の分野で数多くの場面で使われる機会が増えつつある。情報化施工という言葉の定義に関しては次節で述べるが、現在では情報化施工は ICT の活用を指すことが多く、この普及は、センサ、通信機器、GNSS、レーザーをはじめとする測位機器、PC の高性能化と低価格化が一つの要因である。さらに、近年では LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) の活用も計測分野で始まっている。

一方、それらとともに設計ツールとして、CAD,GIS が一般化し、施工時のシステムの一つとしても活用されるようになってきた。特に CAD は CALS/EC の推進により電子データの活用の象徴として、紙ベースの図面の電子化に利用されたが、建設プロジェクトの中での 3次元データの色々な場面での活用のツールとして、利用形態が拡張・高度化しつつある。

今回のタイトルにある「スマート」という言葉は、「賢明な」「きびきびした」という意味があるが、さらに「インテリジェント」に近い言葉でもあり、まさし

く土木が情報化施工を用いて変節しつつあることを表すにはふさわしい言葉である。今回は、このようなスマートな事例を紹介したいと思う。

2. 情報化施工とは

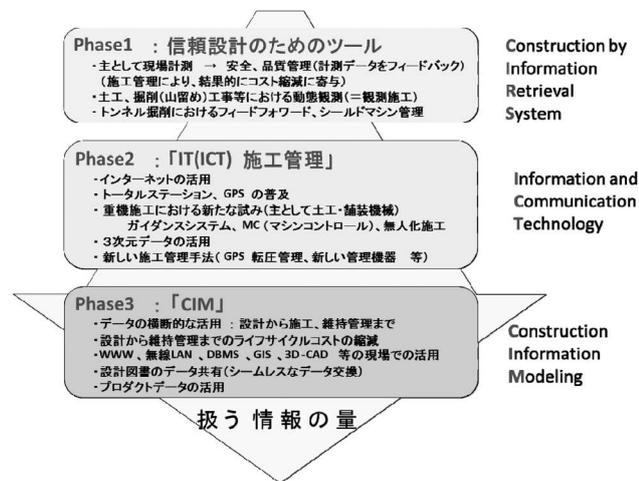
情報化施工という名称は、最近では ICT を建設施工に活用して、高い生産性と施工品質を実現する新たな施工システムの総称として使用されるようになってきた。特に土木工事の分野で、現在我々の多くが認識する「情報化施工」は、2008 年 7 月に公表された「情報化施工推進戦略」¹⁾に基づく国交省のプロジェクトにより大きく歩み出し、現在では多くの現場で GNSS を活用した計測やマシンガイダンスなどの情報化施工が実施されるようになってきた。

ところで、土木工事では工業製品の製造と異なり、現地で構造物を作るという特性から、設計は施工現場をモデル化し、施工時に設計で未確定な部分を、技術者が工夫しながら施工を行うことが多い。これは、「設計(未確定の条件をモデル化した予測値)と施工とのギャップを埋め、施工の合理性を追求することにより、経済的な施工を行う」という信頼性設計という概

念であり、土木では「観測施工」と呼ばれることもあり、これが情報化施工の始まりである。土留め（山留め）の仮設構造物の応力・変位計測や、軟弱地盤の沈下・安定管理などが代表的な事例である。

近年では、近年、情報化施工として定義されている、TS (Total Station) 出来形管理²⁾ や、舗装・土工重機を中心とした ICT 施工の普及が進みつつあり、さらに、2012 年から始まった CIM³⁾ の試行が、新たな情報化施工として定義されつつある。

これらの情報化施工の定義に関して図一にまとめるが、これらは独立した考え方ではなく、ツールやシステムを使って融合することにより、高精度で合理的な施工を行うことが出来ることは言うまでもない。



図一 情報化施工の変遷

3. 情報化施工を用いたスマートな現場

情報化施工においては、センサやネットワークの高度な活用により、様々なデータを施工時に活用できるようになり、所定の品質確保や安全性の向上のほか、施工の効率化も実現しつつある。このような ICT に関わる機器の中で、めざましい普及を見せたのが GNSS である。本誌の読者には既知であると思うが、GNSS は図一に示すように、測量に用いられるだけでなく、重機の制御の自動化やオペレータ支援システム、無人化施工システム等、いわゆる「ICT 施工」に活用されている。ネットワーク型 RTK-GNSS の活用により、より手軽に現場適用が出来るようになり、さらに準天頂衛星 (QZSS) も、デシメーターレベルの計測で活用可能になる日も近いであろう。

海外では、道路工事や圃場整備などの造成工事において、3次元設計データを用いた施工が珍しいものではなく、工事規模にかかわらず普及してい



図二 情報化施工の例 (建設機械と測量における ICT の活用)

る。一方、国内でも大規模プロジェクトを中心に、3次元位置情報を利用し、測量および施工から出来形管理の効率化を図った施工事例が報告されているが⁴⁾、近年では中規模以下の現場でも、特に、舗装・土工における敷均し機械のマシンコントロール (AMC) やマシンガイダンス (AMG) による「丁張りレス」施工の普及がめざましい。

本節では、普及のめざましい GNSS の活用と、携帯端末を用いた情報化施工のシステムを紹介する。

(1) 土工事統合管理システム

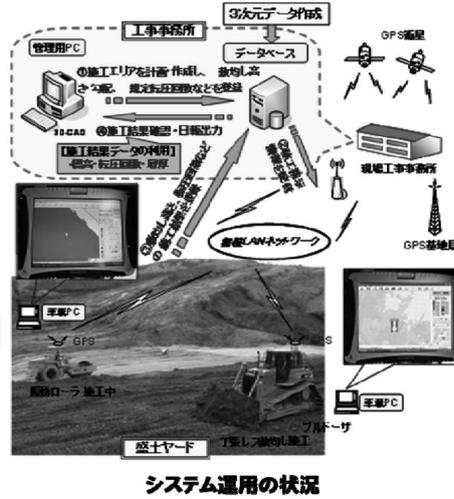
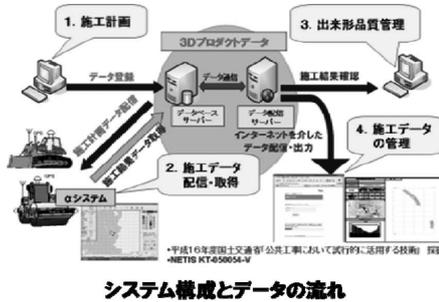
上記の AMC, AMG をネットワークで統合し、データベースを用いて施工管理を行うシステムで、図一に示すような構成である。施工手順 (敷均し・転圧領域) をあらかじめ 3D-CAD で作成し、データベースに格納した後、施工重機側でそれらの計画データをネットワークを介し呼び出し、整然と施工を行うことを可能とする。施工終了後は、施工結果をサーバに送信し、所定の帳票等を作成するシステムである。丁張りレス施工による施工の省力化とともに、帳票作成をクラウドサーバが自動的に行うことができ、施工管理の省力化にも寄与するシステムである。

(2) コンクリート自動運搬システム

災害抑止、水資源確保、電力リダンダンシーの点からダム施工が復活しつつある。本システムは、図一に示すように、ケーブルクレーンを用いたコンクリートバケットの制御技術である。従来、重量物であるバケットの制御は、荷下ろし場所への誘導制御に熟練技術を要し、振れを少なくいかに短時間でバケット移動を行うかは、クレーンオペレータの技術に依存していた。この制御を GNSS を利用した位置管理と、バケットの振れ止めのフィードフォワード制御により、最適制御を行うシステムである。このシステムは熟練工不

土工事統合管理システム

施工領域を3次元化した後、施工指示を現場の管理システムで一元的に行うもので、現場無線LANやGNSSを活用し、施工指示の確実な伝達、および丁張りレスによる施工の合理化を実現する。



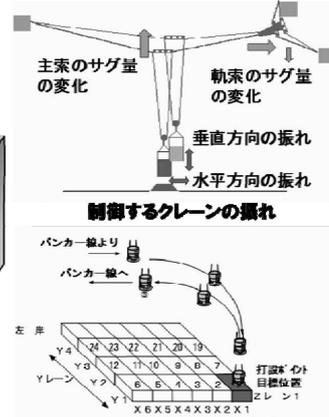
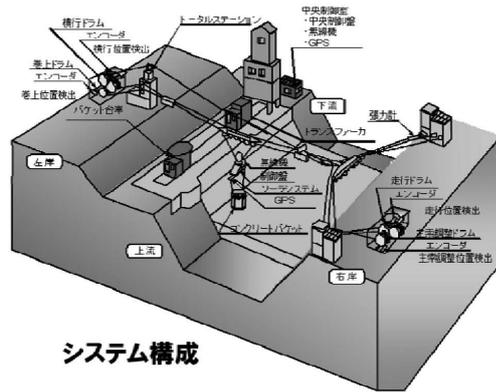
システム構成とデータの流れ

システム運用の状況

図-3 土工事統合管理システム

コンクリート自動運搬システム

コンクリートバケットをコンピュータからの指令で最適な振れ止めを行いながら打設位置に移動し、打設面での安全を確認してコンクリートを放出するシステム。バケット位置のGNSSによる管理と、過去のパターンに基づく振れ止めのフィードフォワード制御を実施。



システム構成

図-4 コンクリート自動運搬システム

足にも対応し、合理的な施工を可能とした。

(3) 配筋検査システム

次節で事例を示す CIM 関連でも、鉄筋の配筋チェック等は、様々なシステムが提案され実施されつつあるが、図-5 に示すシステムは、配筋検査をスマートフォンや iPad などの携帯端末を用いて行うシステムである。端末には、施工場所の配筋図があらかじめ転送されており、検査位置と施工状況をチェック・記録し、所定の帳票を写真とともに迅速に作成するシステムである。立ち会い検査等の物理的制約時間を除くと、施工管理で 40% 程度の省力化を実現した事例もある。

(4) その他測量関連の技術

2012 年 3 月に、国土交通省は「トータルステーショ

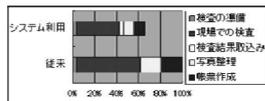
ンを用いた出来形管理」に関する通達を発令⁶⁾し、出来形計測における 3 次元データの有効活用を推進しつつある。ICT 活用のメリットは、上記の他、監督・検査の確実な実施や測量の効率化、さらに総合的に品質の確保に繋がるものであるが、TS や GNSS、さらに最近ではレーザー計測が大きな役割を果たし、3D-CAD を用いた出来形管理なども実用化している。図-6 は GNSS を用いた造成工事の出来形計測の概念図である。造成領域の変化点を GNSS の高速スタティック、または RTK でランダム測量し、計測したポイントデータを座標変換した後に 3D-CAD に読み込ませ、出来形を表示するものである。月次ごとのデータの差分も容易に計算することができ、出来形だけでなく出来高管理にも活用可能である。なお、3 次元データは、近年では国土地理院の電子地形図⁵⁾や航空測

配筋検査支援システム

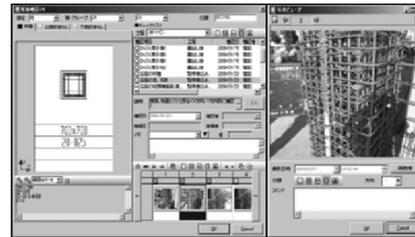
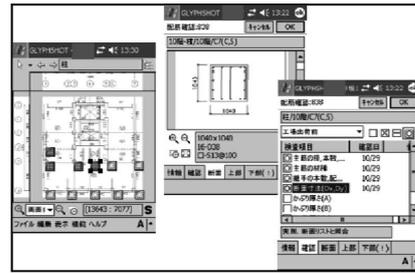
配筋検査における検査作業の効率化と品質管理の向上を図るため、携帯端末(スマートフォンやiPadなど)とデジタルカメラを連携させて、配筋の全箇所・全数検査記録と工事写真を一括管理する。



携帯端末による検査状況

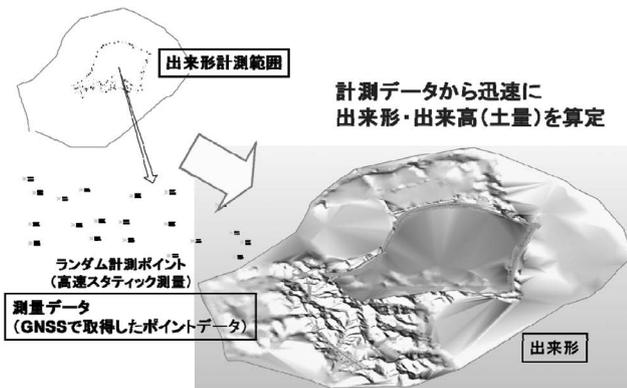


一工区あたりの配筋検査工数の比較

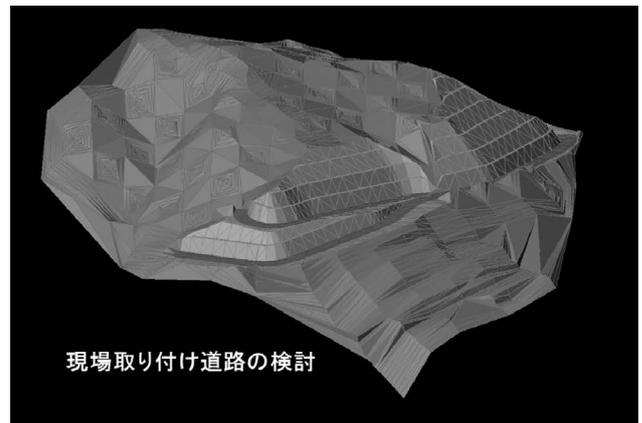


携帯端末による検査内容確認画面

図一五 配筋検査システム



図一六 GNSS を用いた造成工事の出来形計測の概念図

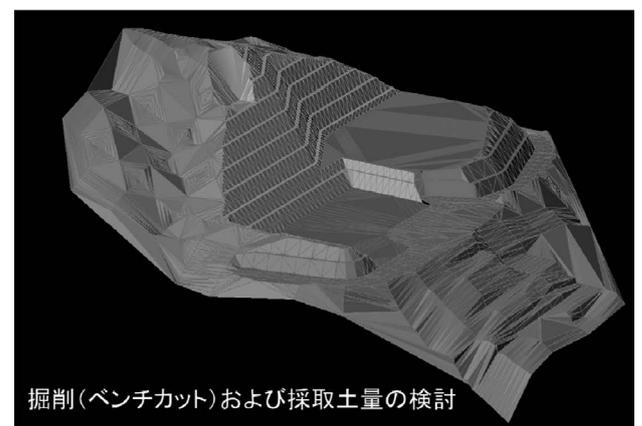


図一七 3次元データを活用した仮設道路の設計

量、さらには旧来の紙ベースの等高線地図からのベクトル変換による地形図などからも取得でき、それらを活用して図一七に示すような仮設道路の検討や、図一八に示す土取場での計画(土量算出も含む)に利用されている。また、掘削土量算出に関しては、地層モデルの3次元化も活用されつつあり、地層モデルから土砂(岩種)別の掘削土量計算にも活用されるようになった。

4. 3次元データの活用

3次元データの活用は、施工の効率化や高度化、品質の担保だけでなく、様々な変革を建設プロジェクトに携わるものに与えることが期待され、2012年8月からCIM 試行プロジェクトが開始されている⁷⁾。建設プロジェクトへのCIM 適用によるメリットは、試行プロジェクトによって明らかにされるであろうが、



図一八 3次元データの工程計画への活用(土量計算含む)

建築で近年急速に導入されつつある BIM を用いたプロジェクト管理よりも多岐にわたることが予想される。ところで CIM の基本的な概念は、土木では 3D プロダクトモデルの活用などが報告されている⁴⁾。こ

れらは3次元データを積極的に活用し、調査・設計データに施工中の数々の情報を付加し、施工中は工程・品質などの管理や資機材調達支援を円滑に行い、納品後の維持管理にもこれらの情報を生かそうとするものである。CIMの活用イメージを図-9に、概念モデルと3次元データの関わりは図-10に示す。

CIMの試行においては、可視化による作業員のみならず近隣住民との合意形成や、施工シミュレーション

による不具合・不整合の事前チェック、数量計算などに活用され、成果が報告されている(図-11参照)。今後はプロダクトモデルとして、施工中の工程や原価管理にも活用されることは容易に想像できるが(4D, 5D管理)、さらに、他のアプリケーションとのデータ交換もXMLやIFC(Industry Foundation Class)を用いて実施され、建設プロジェクトの変革が期待されている。

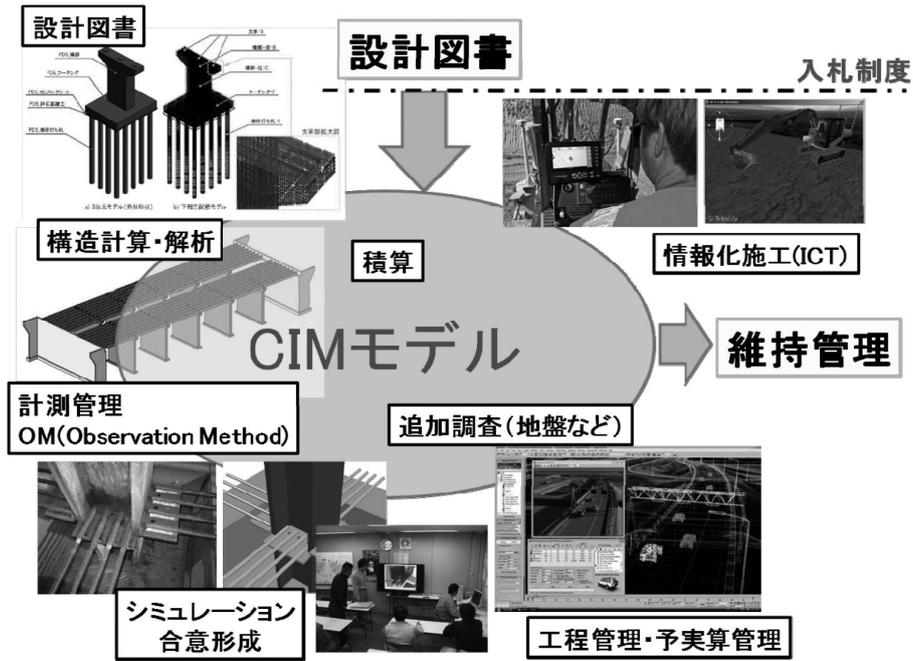


図-9 CIMの活用イメージ

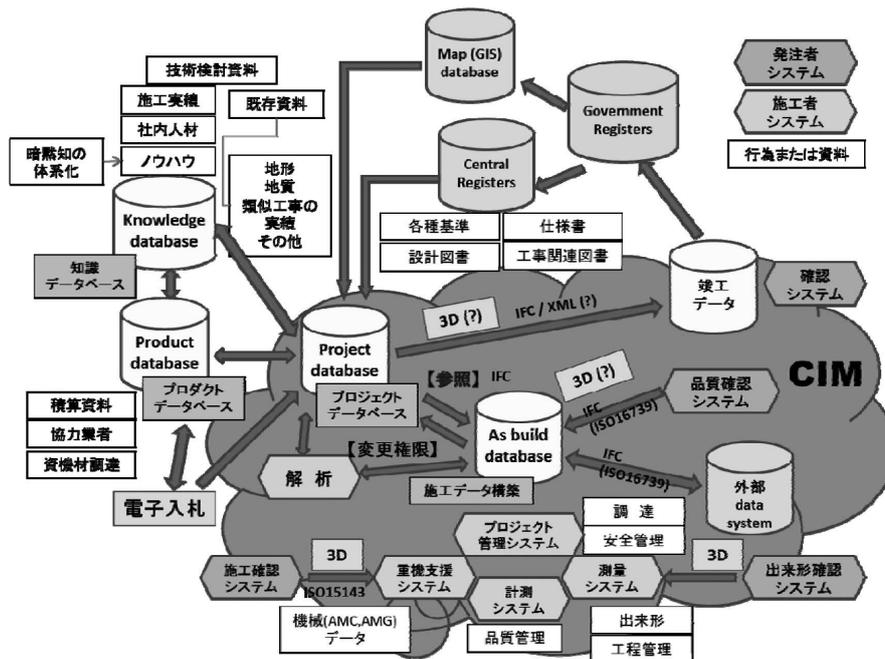
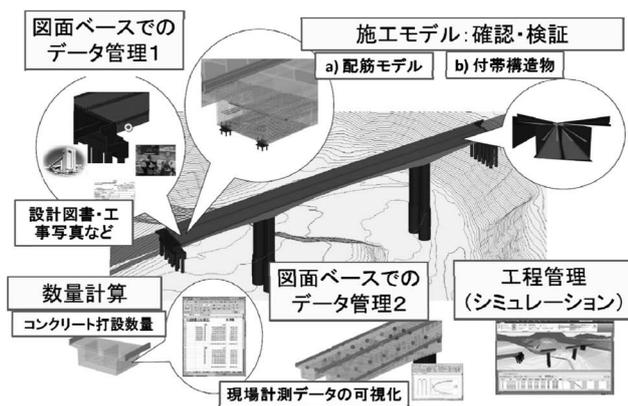


図-10 CIMのデータ交換と3次元データ活用のイメージ



図一11 橋梁工事における施工シミュレーションと計測データの表示

5. 新しい3次元データの活用技術

以上のように、ICTやCIMにおいて3次元データは根幹をなし、それに基づき作成されたアプリケーションとその活用事例を示した。本節では3次元データの取得と活用における最新のトレンドを2つ紹介する。

(1) UAVによる地形測量

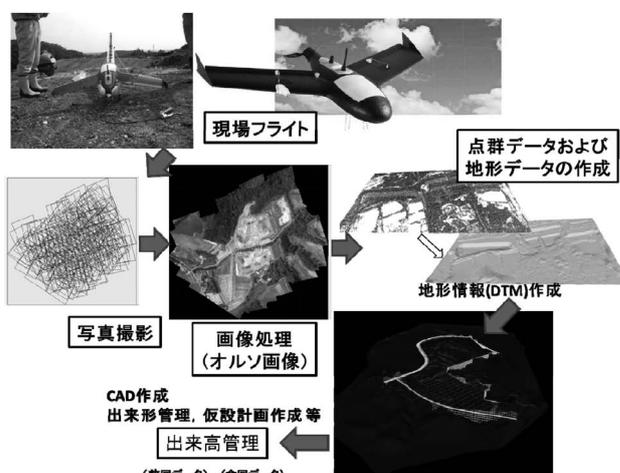
筆者は2012年3月に研究開発の中で、地形データ取得の一つの手法として、無人航空機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)を導入し、幾つかの現場での実験を実施している。現場の地形計測では、従来から行われている測量に加え、TS、GNSS(GPS)、レーザー測量、航空測量などは従来通り利用されているが、UAVは機動性に優れ、フレキシブルな活用が可能となるなどのメリットが大きい。UAVには今回紹介するSTOL(飛行機)タイプとVTOL(垂直離発着: 図一12)タイプがあるが、今回紹介するUAV(STOLタイプ)は、あらかじめ撮影エリアを設定しておく、自動でフライト計画を設定し、指定されたエリアを撮影後に指定した場所へ戻ってくる(目視出来ない範囲でも利用可能)。UAVによるデータ取得の概要を図一13に示す。取得データはオルソ写真で、撮影後、地上既知点データ等とマージするとともに、画像処理(ステレオ化)し(図一14参照)、その後デジタルデータ(DTD)として出力する。データ結合までならば飛行後30分、詳細データは約8時間程度で処理が終了し、3D-CADなどで利用可能なデータを生成する。

UAVはこのような地形測量のみならず、災害時の情報収集や、人間が行きにくい場所の点検診断にも活用が広がりつつあり、今後、活用事例は各方面で益々増えるものと考えられる。

産業用マルチコプター



図一12 VTOLタイプのUAVの例



図一13 UAVを用いた地形データの取得



図一14 UAVによるオルソ画像(データ結合後の3次元写真)

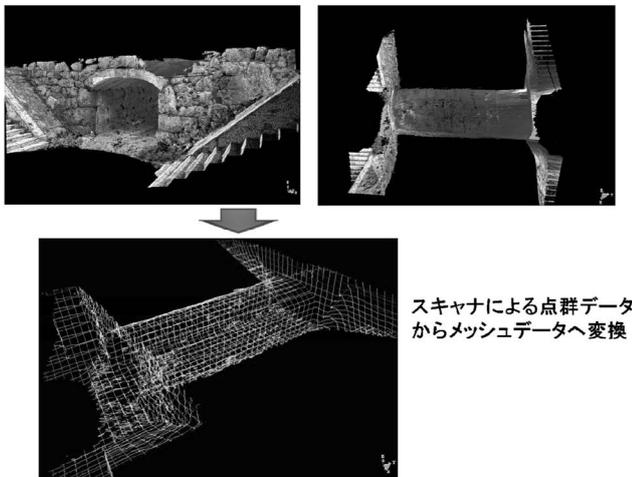
(2) レーザースキャナの活用

レーザースキャナ自体の歴史は古く、固定式のレーザースキャナは1980年代には製造や物流現場で活用が始まっていた。しかし、機器が大きく高価であったことから、建設分野での利用など到底考えられなかった。しかし、近年、機器の大幅な小型化と高性能化、および価格の低下により、色々な分野での活用が始まっている。

建設関連でレーザースキャナが威力を発揮したのは、歴史的建造物などの記録(修復のための事前計測

のみならず、歴史的建造物をデジタル化して記録)⁸⁾であった。その後、工事に伴う家屋調査や、斜面・構造物のモニタリングなど用途を広げつつある。図—15には石垣および横断トンネルの修復に伴う事前調査の事例を示す。一般構造物と異なり、形状が多様な石垣に関しては、事前に状態を記録することはこれまで困難な作業であったが、レーザースキャナを用いることにより、詳細で正確な記録も可能となった。また、計測した点群データは、図—15に示すようにメッシュデータへの変換等を行い、計測管理や解析への活用も行なわれている。さらに、モニタリングへのレーザースキャナの活用も増えつつあり、計測した点群データの時刻歴差分から変位を計算したりすることも可能である。

レーザースキャナは、仮置土量の算出などにも利用され始めており、近年では施工中のスキャンデータから出来高算出や、構造部材のチェックを行う試みも行われつつある。また、LIDARの活用も始まっておりMMS (Mobile Mapping System) で、道路などでの既存インフラの計測に利用され始めている。



図—15 スキャンされたデータの活用例
(点群データ→メッシュデータ→構造解析)

6. おわりに

スマートという言葉の意味は、「はじめに」でも触れたが、さらに「情報処理機能を持つ」という意味も含まれることがあり、まさに情報化施工による土木工事の変革にふさわしい言葉であると思う。

ところで、筆者は情報化施工の根底には3次元データの活用があると考え始めている。建設にかかわらず、我々は当然ながら3次元の物体等に触れ、それら

を組み立て、構造物を構築しているわけであるが、これまでは設計や施工管理は2次元で行っていた。3次元データの有用性は認めつつ、それを扱うツールが乏しかったためであるが、近年の急速な技術の進歩により、今までよりも容易に3次元データを設計・施工で扱えるようになってきた。これらは施工時のみならず維持管理にとって有用なデータに成りうる。また、それを実行する情報化施工システムは、災害時や点検・維持・管理、リニューアル工事に活用される場面も想定される。

情報化施工システムを高度化し、より使いやすいものにすることによって、合理的で高精度な施工を行うことは技術者の使命である。ただし、情報化施工の適用に当たっては、従来方法と異なる管理も必要となることが多く、これに関しては技術者全体で考えていくべき課題であると考ええる。さらに、技術者としては、施工精度の向上や効率化と施工管理の省力化を従来技術と比較し、施工規模や技術導入に係わるコストと施工上のメリットを十分検討の上、情報化施工導入にあたっては、総合的な判断を行うことが必要である。

謝 辞

レーザースキャナのデータは、関西工事測量(株)から提供頂きました。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省：http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/01/010221_4_html, (2014.2 現在)
- 2) 国土交通省：河川・海岸・砂防土工、道路土工の工事でトータルステーションを利用する場合の出来形管理要領, 2012.3.29.
- 3) 国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本, 2002.10.
- 4) 古屋 弘・千葉洋一郎：3Dプロダクトデータを用いた土工事施工支援システムの開発と現場適用, 第29回情報利用技術シンポジウム論文集, Vol.13, pp.243～250, 2004.10
- 5) 国土交通省国土地理院：<http://www.gsi.go.jp/kibanjoho/kibanjoho40030.html>, (2014.2 現在)
- 6) 国土交通省：通達「情報化施工技術を活用した施工管理及び監督・検査について」, 2012.3.29.
- 7) 国土交通省：情報化施工推進会議（第10回）CIMの導入検討について, www.mlit.go.jp/common/000221538.pdf, (2013 現在)
- 8) 和田雅昭ほか：3Dレーザースキャナによる函館漁港船入潤防波堤の3次元計測, 平成18年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp.207-210, 2006.

【筆者紹介】

古屋 弘 (ふるや ひろし)
 (株)大林組
 技術研究所 生産技術研究部
 主席技師

