

i-Constructionによる生産革命の効用と導入に向けての課題解決法

西山 哲¹

¹岡山大学大学院 環境生命科学研究科.

本報告は、一般社団法人中国建設弘済会の技術開発助成制度の成果を踏まえて構成するものである。具体的には、当研究助成により、「高効率ICT土工実現のための車両移動型高精度3次元レーザ測量技術の開発」と題する研究開発を実施したので、その成果を基にして、i-Constructionにおける3次元モデル活用の効用をあらためて考察し、さらに当3次元モデルを作成するための効率的な3次元データの取得法に関する近年の研究内容をまとめるものである。後者の3次元データの取得法に関しては、現在はドローンによる写真測量あるいはレーザスキャナが主に用いられているが、それらが抱える課題解決策として、本研究助成の成果が有用であることを報告する。

キーワード：i-Construction, コンカレントエンジニアリング, 3次元, レーザ測量

1. i-Constructionが目指すSociety5.0

図-1 は i-Construction の概念を示すものである。「調査・測量」から「維持管理・更新」までの一連の工程において、人的・時間的な労力を軽減する ICT 技術を積極的に導入して生産性向上を図ることで、魅力ある建設現場を目指す取組が i-Construction である。この取り組みを導入することになる背景の一つに挙げられるのが少子高齢化である。現在、建設現場で働いている技能労働者約 340 万人のうち、約 1/3 にあたる約 110 万人が、今後 10 年間で高齢化等により離職することが見込まれており、現在と同じ水準の生産性では将来の建設現場が成り立たないことは明らかである。さらに生産性の向上を目指すことで、企業の経営環境を改善し、建設現場の担い手の賃金の水準の向上を図るとともに、安定した休暇の取得や安全な建設現場を実現する“働き方改革”を目指すものである。キーワードは、各工程における「3次元」化である。すなわち、全てのプロセスに3次元のデータを一貫して使うことが特徴である、例えば、UAV 等で3次元の測量 データを入手し、3次元の設計データとの差分を瞬時に計算することで最適な施工計画を立案し、また3次元の設計データ通りに重機が自動で作業する。さらに監督や検査においても、GNSS や UAV 等を使って現状の出来形をごく短時間で収集することで、施工管理や検査の労力を大幅に減らし、受注者の負担が大きい工事完成時の検査書類を削減する。これまでの情報化施工の施工結果から試算すると、施工時期の平準化による効果とあわせて、1人当たりの生産性が約5割は向上すると見込まれている。

一方、「狩猟社会」「農耕社会」「工業社会」「情報

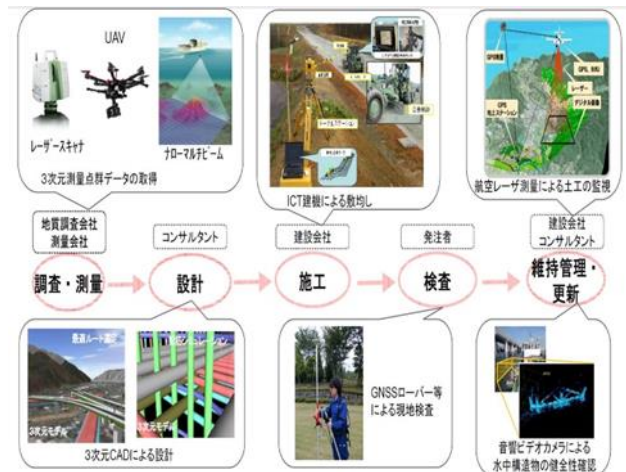


図-1 i-Construction の概念を表す図

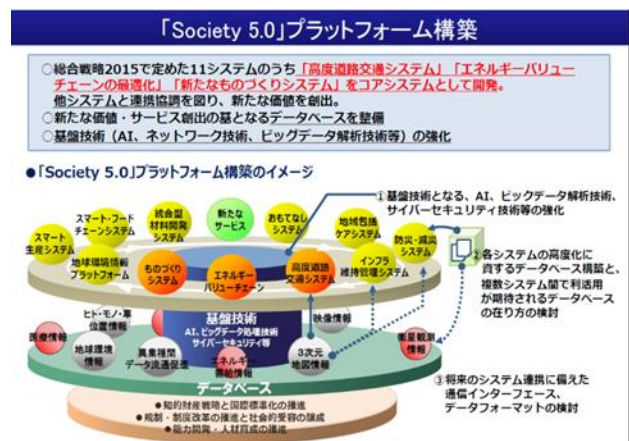


図-2 Society5.0 を説明する図

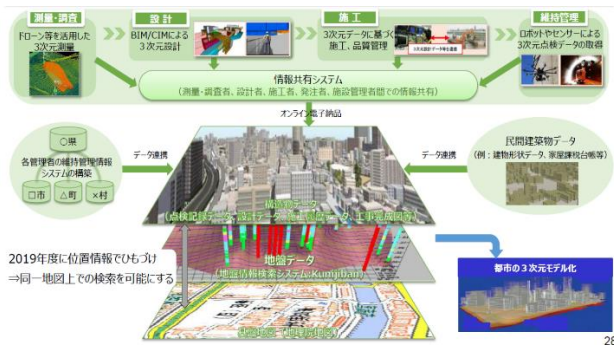


図-3 Society5.0におけるi-Constructionの位置付け

ICT土工：得られた成果の概要

- ・急峻な地形でも安全に測量作業できる
- ・正確な土量が算出できる
- ・現場を立体的に把握できるので、経験の浅い職員にも容易に現場を理解でき、問題点を早期に発見できる。
- ・マシンコントロールバックホウを使用し、効率的で正確な施工ができる
- ・従来の2.0m毎の出来形から、面として全体の出来形を管理できる。

3次元モデルはドローン写真測量

図-4 現場状況とi-Construction（ICT土工）導入の成果

社会」に続いて、閉塞感を打破し、希望を持ち、一人一人が快適で活躍できる人類史上5番目の新しい社会こそ、我が国が目指す未来と位置づけ、その社会を「Society5.0」と称している。Society5.0では、図-2に示すように「3次元地図情報」の上に「インフラ維持管理」「防災・減災システム」あるいは「ものづくりシステム」を構築する。また図-3に、「3次元地図情報」の活用をさらに具体的に示した資料を示す。居住空間における地上のものから地盤や地下空間まで一つの3次元モデルにする取り組みが始められている。これはサイバー空間と呼ばれる仮想空間上に都市全体がモデル化されるイメージであるが、実空間（フィジカル空間）の座標と関連させているので、パソコン画面上で実際の位置情報を持った都市が再現される。この両空間の融合が、Society5.0の定義でもある。さらに図-3には、その3次元モデル化と関連させて、「速聴・調査」から「施工」「維持管理」までの一連の工程を「3次元化」していく概念が示されている。これはi-Constructionの概念であり、地上の居住空間全体が3次元モデル化していく取り組みの中に位置づけられている。留意すべきは、図-2において「3次元地図情報」を活用する際のツールとして、IoT（Internet of Things）、ビッグデータ解析技術や人工知能（AI）が示されていることである。IoTで全ての人とモノがつながり、様々な知識や情報を共有して新たな価値を生み出し、AIにより、必要

分析項目	良好 ←	→ 悪化
作業	計測作業効率	大幅に向上 少し向上 従来同等 低下
	図化作業効率	大幅に向上 少し向上 従来同等 低下
	のべ作業員	大幅に減少 少し減少 従来同等 増加
品質・精度	大幅に向上 少し向上 従来同等 低下	
安全性	大幅に向上 少し向上 従来同等 低下	

図-5 UAV測量導入の効果

な情報が必要な時に提供され、さらにロボットや自動走行車などの技術で、少子高齢化、地方の過疎化あるいは貧富の格差などの課題を克服する。これらのツールの活用は、第4次産業革命と言われており、この革命に乗り遅れる業界や会社は衰退していく、とまで言われている。I-Constructionの取り組みが提唱されているが、それはSociety5.0を目指す社会を構築する取り組みであり、具体的には、基本データとなる「3次元」と「IoT・AI・ビッグデータ解析」ツールを組み合わせ、「働き方改革」を達成する取り組みであると言える。すなわち、「3次元」データの効用を理解し、「IoT・AI・ビッグデータ解析」というツールを上手く使いこなすことがi-Constructionを成功させる秘訣と言える。

2. i-Constructionにおける「3次元」の効用

i-Constructionにおける「3次元」を活用すると、どのような利点が生まれるのかを具体的に考察する。対象は、掘削工8,500m³、路体盛土工19,100m³の道路土工に対し、掘削工5,000m³、切土法面整形工720m²、盛土法面整形工4,830m²をICT土工で施工した例である。図-4に、現場の状況を示すと共に、i-Construction導入の成果として現場から寄せられた意見を示したものである。なお3次元モデルはUAVを使った写真測量によって作成された。図-5は、ICT土工の工程において、従来の測量作業と比較した際の3次元測量作業の利点を示す。UAV測量は、対象個所に複数の標定点と検証点を設置する必要があるが、その作業を含めても、起工測量の日数が約1週間から3日に短縮できる、あるいは複雑な地形も正確に測量できる、といった効果が生まれる。またUAV測量に不慣れな点や測量用のソフトの選択により測量効率が変わるなどの問題点により図化作業効率の利点は見られていないが、今後はこれらの課題は改良されていくと考えられる。

次にマシンコントロール重機による施工工程の利点に関しては、丁張作業の減少による施工速度の向上、重機から降りて丁張を確認する作業が無くなることに因る安

分析項目	良好 ←				→ 悪化
施工スピード	大幅に向上	少し向上	従来同等	低下	
作業	のべ作業員	大幅に減少	少し減少	従来同等	増加
	手戻り	大幅に減少	少し減少	従来同等	増加
品質・精度	大幅に向上	少し向上	従来同等	低下	
安全性	大幅に向上	少し向上	従来同等	低下	

図-6 マシンコントロール施工の効果

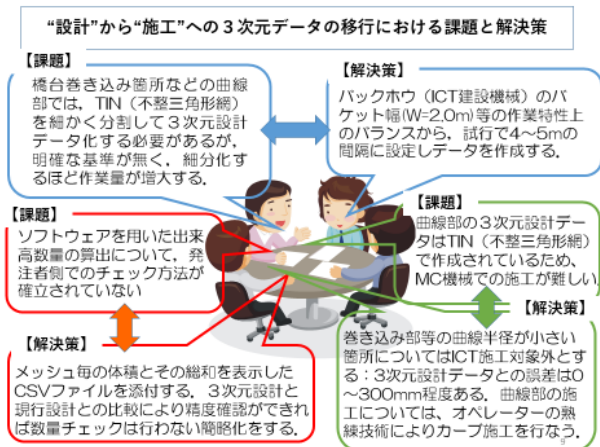


図-7 コンクリートエンジニアリングの実施状況を示す図

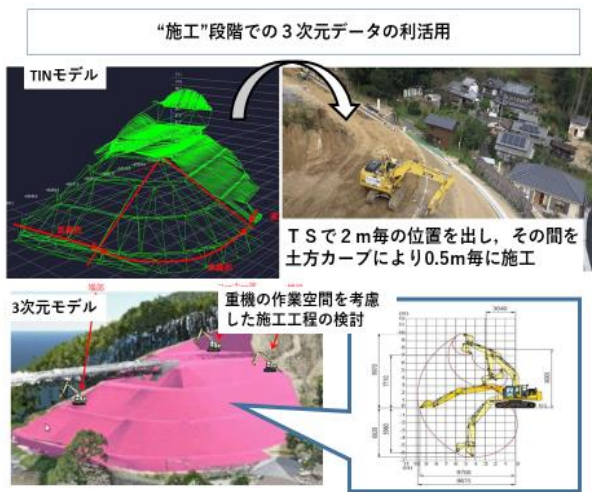


図-8 コンクリートエンジニアリングで活用される3次元

全性の向上などの利点が見られた。また、GNSSの受信状況が良好でない箇所の施工精度の確保が課題であったが、手戻りが無くなることの利点が挙げられている。これらをまとめたものが図-6である。手戻りが無くなる効果は、マシンコントロールによる深堀り防止に因ることもあるが、図-7のように、設計から施工に移行する段階で、関係者がどのような課題の発生が予想され、それに対して、あらかじめどのような解決策を用意しておくのかを検討する機会を設けたことの効果である。その際に、問題点

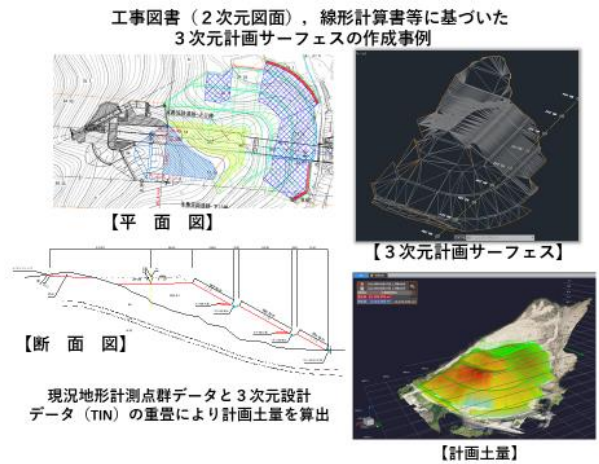


図-9 i-Constructionにおいて活用された3次元データ

と解決策の検討を容易にするのが、図-8に示す3次元モデルである。図のように設計から施工における工事対象の状況を具体的に可視化することで、課題の抽出・整理と課題解決策の検討が容易になる。この問題点と解決策の検討の工程に関与する関係者が集まって議論する作業は、コンクリートエンジニアリングと呼ばれる。コンクリートエンジニアリングは、製品製造現場において早くから提唱された考えで、対応するVOC、品質、コストだけでなく、製造性、調達先、サービス性などを製品設計の初期から検討していくことを意図したもので、その定義は「製品やシステムの開発において、設計技術者から製造技術者まですべての部門の人材が集まり、諸問題を討議しながら協調して同時に作業にあたる生産方式。開発のある段階が終わってから次の段階に移るのではなく、開発段階の最後のほうですでに次の段階をオーバーラップしながら開始していくこと」である。すなわち、上流の工程から下流の工程に至るまで、関与する技術者が一つのテーブル上で、課題を洗い出す作業を行う。さらに、そこで産まれる利点にフロントローディングと言われるものがある。これは「システム開発や製品製造の分野で、初期の工程において後工程で生じそうな仕様の変更等を事前に集中的に検討し品質の向上や工期の短縮化を図ること。CIMにおいては、設計段階でのRC構造物の鉄筋干渉のチェックや仮設工法の妥当性検討、施工手順のチェック等の施工サイドからの検討による手戻りの防止、設計段階や施工段階における維持管理サイドから見た視点での検討による仕様の変更等に効果が見込まれる」ことを狙う概念である。本好事例は、図-9のような「3次元データ」を基にしてコンクリートエンジニアリングを実践した事例であり、その結果として「手戻り」が無くなるという利点が生じたことを示している。次の施工から出来形管理の工程においても同様に、3次元モデルを活用しながらコンクリートエンジニアリングによるフロントローディングが実施された。ここでも3次元モデルによって可視化された現場状況を基にした議論が実施されてい

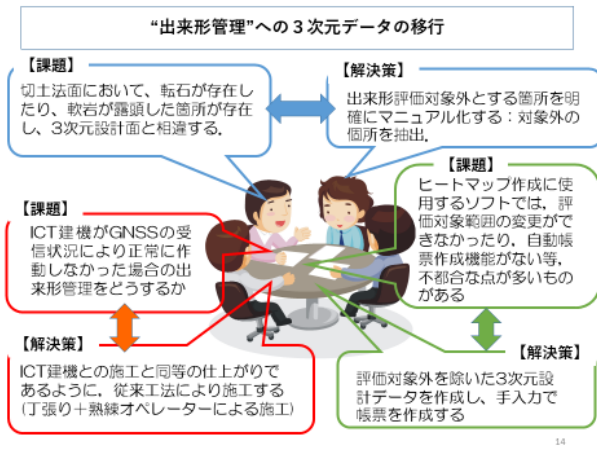


図-10 出来形管理段階でのコンクリートエンジニアリング

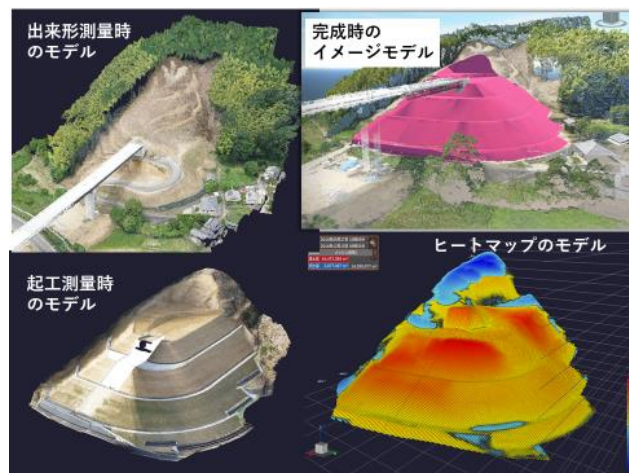


図-11 活用された3次元データの例

る。図-10および図-11に、実施されたコンクリートエンジニアリングの状況と、活用された3次元データの例を示す。3次元モデルを活用することにより技術者の経験の差に左右され難い検討が可能になる、現在では、VR（仮想現実）、AR（拡張現実）あるいはMR（複合現実）やSR（代替現実）と称される技術と連携させ、現場という実空間を、より現実感を持たせてパソコン画面上の仮想空間で再現する技術が開発されている。今後は、この「3次元」に「IoT・AI・ビッグデータ解析」を導入することがi-Constructionの進化形として期待されている、

3. i-Construction関連の最新技術動向

前節において3次元モデルの効用を記述した。本章では3次元モデルを作成するためのデータ取得法あるいはその活用法を含めて、第4次産業革命に向けての「IoT・ビッグデータ解析」に関連するi-Constructionを進化させる最新技術を紹介する。

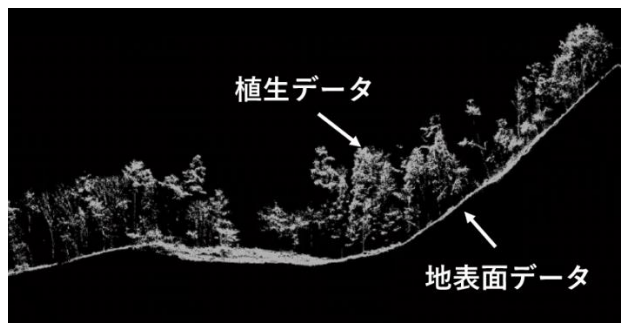


図-12 UAVレーザ測量による地表面形状取得例



図-13 UAVレーザ測量による地表面形状取得例

(1) IoT技術による3次元データ取得法

現在の3次元データの取得は、写真測量とレーザ測量に大別される。写真測量はUAVを使ったものが一般であるが、写真測量は画像中の特徴点を専用ソフトが自動認識し、さらに現位置に設置された標定点の座標を使った補正により3次元モデルを作成するものである。そのため、現場状況によって特徴点の認識の精度が異なるといった問題点の他、植生の影響を受けて地表面が測量できない、データ取得後の工程が簡便にならないなどの課題がある。そこで将来は、地表面の3次元座標を直接測量するレーザ測量の活用が普及すると考える。UAVを使ったレーザ測量は、6万点/秒の点群密度でレーザ照射する専用のスキャナも市販化され、図-12のように植生が繁茂していても地表面のデータを取得することが可能で、起工測量時などは有用である。欠点としては、現在使用されている近赤外線レーザ光は、水中を透過することができないので濡れた地表面の測量精度が低い、あるいは黒色の表面の物体はレーザ光を吸収しやすく、測量が困難になる場合がある。現在は、これらの欠点を克服する緑色のレーザ光を照射するUAV専用のスキャナが開発された。図-13のようにUAV専用のスキャナが市販され、近赤外線レーザと同じ形状であり、対象によって使い分けが可能になった。これまで測量できなかった水面下のもの、

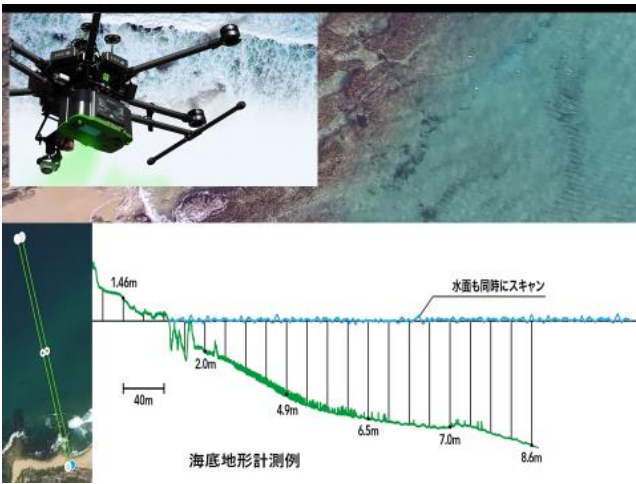


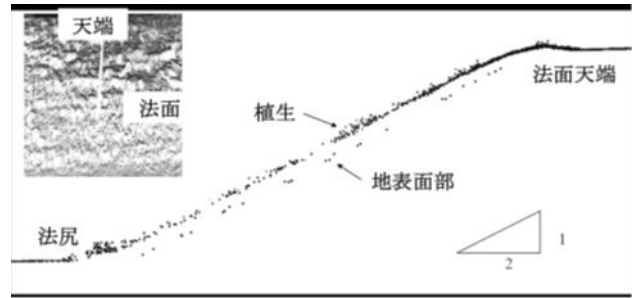
図-14 UAVグリーンレーザ測量による海底地形形状取得例



図-15 車両移動型レーザ測量技術の概要

例えば図-14に示す河床や海底地形の詳細をUAVで計測することができる他、雨天後の地表面や近赤外線を吸収するアスファルト舗装面も測量することができる。i-Constructionの導入が推奨されている舗装や浚渫への導入が期待されている。

また中国建設弘済会の研究助成において開発された技術が、図-15に示すようなレーザスキャナを車両上に設置して、移動しながら3次元測量を実施する手法である。レーザスキャナを搭載した昇降機を折り畳んだ状態で車両走行により目的地まで移動し、その後3.5~5.0mの高さに昇降機を使ってレーザスキャナを上昇させ、100m周囲を50mm間隔の密度で3次元測量する。これまでの車両走行による測量技術は、道路周辺の構造物やトンネル壁面といった近距離の計測用に開発されてきたため、遠距離に照射できるレーザスキャナを搭載しても、その入射角度が鋭角になるためフットプリントが大きくなり、広範囲を均一に高精度で測量することは困難であった。本研究ではレーザスキャナを昇降機に搭載して、遠距離まで鋭角的に対象物にレーザ光を入射させ、高精度測量を実現する。道路交通法の関係で走行(30km/h)しながら測量



す

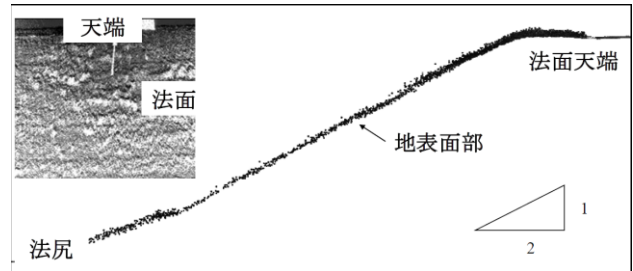


図-16 車両移動型レーザ測量技術の改良効果

上：地上3.5mからの測量 下図：地上5.5mからの測量

る際は、3.5m高度からレーザを照射して100mの範囲を測量する。一方車両を停止してより広範囲の測量を行なう際は、3.6~5.0mの高さから照射して150m以上の範囲をカバーする。2016年に国土交通省が主催したi-Construction推進コンソーシアムにおいて、ICT土工により外注費用を回収できる施工量を分析したところ、施工規模が小さくなるほど、3次元測量の外注費用に見合う効果が得られ難いことが報告されている。この実態を詳細に見ると、UAV測量の導入により自社技術で測量を行う割合が、起工測量では29%から7%に減少し、さらに出來型管理でも43%から17%に減るため、外注費によってUAV測量の低コストに限界があることが指摘されている。またスキャナは専用のものを使用しても、機器が重くなる(4~20kg)ことで飛行時間が20分以下と短くなり、広域の測量作業の効率化を図ることが困難である。特に、UAVは、安全運行のための訓練を受けなければ使用できず、熟練しても電線との接触や落下事故の恐れがあることや、法的な規制により、どこでも活用できる利便性に乏しい。本研究成果による技術は、車両で目的地まで走行してスキャナを動作させるだけという作業の利便性、高精度のGNSS・IMUを搭載できることにより、基準点無しでも測量成果の±20mmの高精度化が可能であり、また高所からのレーザ照射によって広範囲を高密度で測量できるなど、対象物の3次元座標を直接計測できるというレーザ測量の利点を最大限に発揮できる。図-16は、本技術の効果を示したものである。高さ約6.0mの2割勾配の法面の天端から、車両高さからレーザをスキャンさせた場合と、車両上5.5mの位置からレーザ照射させた場合の法面上の点群密度を比較したものである。車両高さから照射したものは仰角の影響で法尻まで十分に到達しないだ

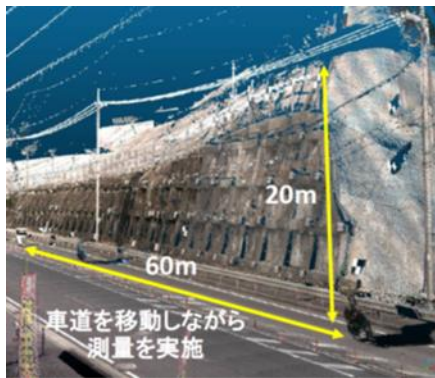


図-17 車両移動型レーザ測量を行った法面

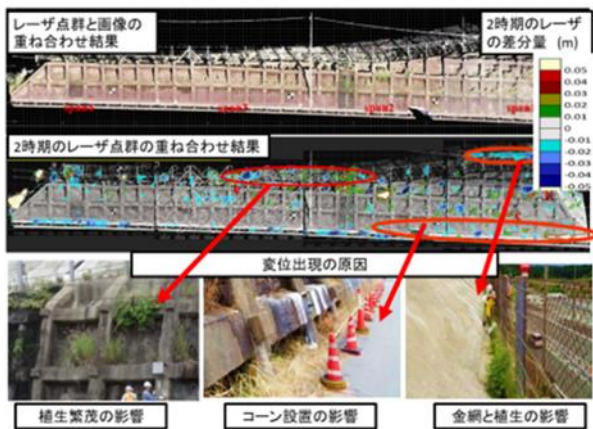


図-18 車両移動型レーザ測量データより変状抽出を試みた例

けでなく、法面上には植生が繁茂している影響で、法面上の地表面もレーザ点群密度が小さくなる。一方、車両上5.5mの位置から照射させたレーザは法尻を含めて均一な高密度のレーザ点群密度を得ることができる。UAVや車両を利用しての測量は、GNSS測位などにおける高速データ通信技術を活用するものであり、IoTの進展によりさらなる高度化が見込まれる。

(2) ビックデータ解析技術による3次元データ処理

前節では、UAVや車両で移動するといった効率的な手法のi-Constructionへの適用を示したが、ここでは、それらによって取得されたデータの解析技術の開発事例を紹介する。計測対象は図-17に示す幅60m、高さ20mの法枠工が実施された法面に対して、車両移動型によるレーザ測量を2時期にわたって実施し、取得されたレーザ点群を自動的に重ね合わせる解析が実施された。具体的には、自動運転技術でリアルタイムでの測位あるいは事物の認識で採用されているICP (Iterative Closest Points) と称される解析手法の応用である。この技術により、各施工段階の実績値の重ね合わせ (ヒートマップ) による出来形管理や維持管理時に必要な変位箇所の抽出と定量化を、ビッグデータの重ね合わせにより簡単に実施できる。図-18は、ICPにより2時期のレーザ測量結果を合わせて、変状発生箇所を検知した結果である。植生の繁茂状態や設置物の

今、何が起きているのか？② ～第4次産業革命～

- この技術のブレークスルーは、
 - ① 大量生産・画一的サービスから、個々のニーズに合わせたカスタマイズ生産・サービスへ (個別化医療、即時オーダーメイド服、各人の理解度に合わせた教育)
 - ② 社会に眠っている資産と、個々のニーズを、コストゼロでマッチング (Uber、Airbnb等)
 - ③ 人間の役割、認識・学習機能のサポートや代替 (自動走行、ドローン施工管理・配送)
 - ④ 新たなサービスの創出、製品やモノのサービス化 (設備売り切りから、センサーデータを活用した稼働・保安・保険サービスへ)、データ共有によるサプライチェーン全体での効率性の飛躍的向上 (生産設備と物流・発送・決済システムの統合) を可能にする
 - ⑤ 第4次産業革命の技術は全ての産業における革新のための共通の基礎技術であり、様々な各分野における技術革新・ビジネスモデルと結びつくことで、全く新たなニーズの充足が可能に(ゲーム編集技術×バイオデータ=新規創薬、新種作物、バイオエネルギー等)

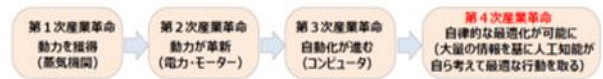


図-19 第4次産業革命に求められる人材像

状態も検知しながら、法面に変状が現れていないことを可視化できる。ヒートマップ専用のソフトを使用することなく、無人運転技術を応用することでリアルタイムでの3次元データ処理が可能になり、維持管理工程でのコンカレントエンジニアリングを容易に実践できる。この他、AIもi-Constructionの維持管理の工程では既に導入されており、国の直轄工事では施工段階での導入も始まった。

「3次元」化に伴い、データは「ビックデータ」化していくが、第4次産業で進化していくツールの利用で、人的・時間的労力の削減を可能にすることができる。

4. 結言

図-19は、土木分野を含めて、進められている構造改革の内容を示す経済産業省の資料である。大学教育も、「ICTを使いこなせる人材」を育てる教育プログラムが必須になった。I-Constructionの実施は、Society5.0という我が国が目指す社会の構築に必要な不可欠なもので、第4次産業革命の流れに乗り遅れないことが、発注側と同時に受注側にも要求される時代であると言える。

謝辞：本内容は一般社団法人中国建設弘済会の技術開発支援制度による成果を基にしたものである。ここに厚く御礼申し上げます。また第2章は株式会社荒木組および株式会社ウエスコよりデータを提供して頂いた。両会社に御礼申し上げます。

5. 参考文献

- 1) 本文中の図は、国土交通省Webページを参照のこと：
<http://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>, 2019年10月18日