

2019年度 文部科学省委託事業

「専修学校による地域産業中核的人材養成事業」

～Society5.0等対応カリキュラムの開発・実証～

建設エンジニア：「ICT・UAV探究」 テキスト

学校法人誠和学院 日本工科大学校

【目 次】

『Society 5.0 社会を支えるエンジニア育成教育プログラム開発事業』

— 建設エンジニア：「ICT・UAV探究」 —

第Ⅰ章 i-Construction の推進

1 我が国の現状	4
2 今後の方向性	7
3 i-Construction の推進	11

第Ⅱ章 3次元起工測量・出来形測量

1 ICT活用工事	20
2 3次元起工測量	20
3 UAV写真測量	21
4 UAV(無人飛行機)の飛行規程概要	25
5 UAV写真測量から3次元データファイル作成の手順	28
6 写真測量の原理	32
7 レーザー測量	33

第Ⅲ章 ICT施工

1 ICT施工の概要	40
2 3次元設計データの作成	40
3 ICT施工	43
4 品質管理、出来形管理	47
5 ICT施工の課題	52

第Ⅰ章 i-Constructionの推進

1 我が国の現状

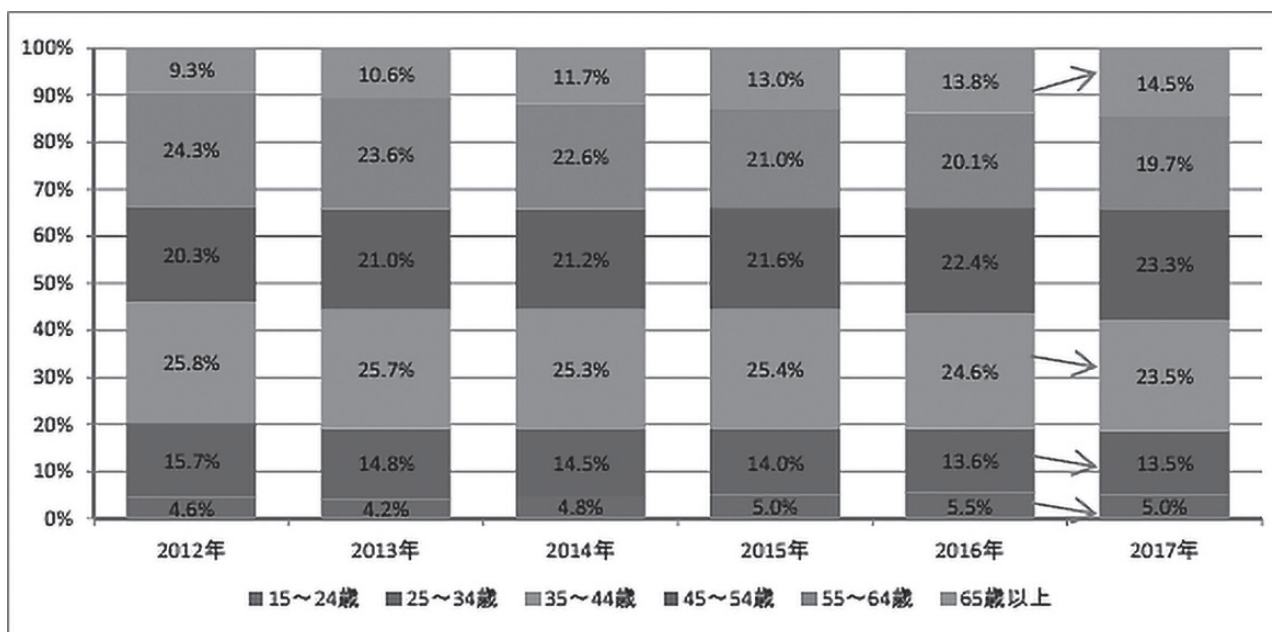
(1) 労働力が不足する時代

現在、建設現場で働いている技能労働者約340万人(2014年時点)のうち、約1/3にあたる約110万人が55歳を超えており、今後10年間で高齢化等により離職する可能性が高いことが予想される。

現在は、55歳以上の技能労働者が現場を支えることによって我が国の建設現場は成り立っているが、この方々の大部分が離職することが予想される10年後には、現在と同水準の生産性では建設現場は成り立たない状況となる。

我が国の人口構造に起因するこの労働力不足は全産業に共通する課題であるが、建設産業においては、既に中高年層が現場を支える状況にあることから、より一層深刻な課題となっている。

【建設業就業者の年齢層別比率の推移】



出典：総務省統計局「労働力調査」

(2) 安全と成長を支える建設産業

激甚化する災害に対する防災・減災対策や老朽化するインフラの戦略的な維持管理・更新、そして、強い経済を実現するためのストック効果を重視したインフラの整備など、建設産業には、安全と成長を支える重要な役割が求められている。

◇言葉の窓:「ストック効果とは」

インフラの整備効果にはフロー効果とストック効果がある。

フロー効果は、公共投資の事業自体によって生産、雇用や消費といった経済活動が派生的に創り出され、短期的に経済全体を拡大させる効果である。

一方で、ストック効果は、整備された社会資本が機能することで、整備直後から継続的かつ中長期にわたって得られる効果である。

また、ストック効果には、耐震性の向上や水害リスクの低減といった「安全・安心効果」や、生活環境の改善やアメニティの向上といった「生活の質の向上効果」のほか、移動時間の短縮等による「生産性向上効果」といった社会ベースの生産性を高める効果がある。

(3) 安定的な経営環境「若者の雇用の確保」

我が国の建設投資額は平成4年度の約84兆円をピークに減少し、平成22年度にはその5割以下となる約41兆円まで落ち込んだ。その後、増加に転じ、平成27年度はピーク時と比較し6割の水準である約48兆円となった。

また、12年連続で減り続けてきた公共事業予算が2015年度は2年連続で横ばいとなった。このような建設投資、公共事業予算の状況の中、建設企業の業績も上向き、建設企業においても安定的な経営環境が実現し始めたことで、未来に向けた投資や若者の雇用を確保できる状況になりつつある。

(4) 生産性向上のチャンス

トンネル工事の生産性は、昭和30年代の東海道新幹線工事の頃と近年の新幹線工事の頃と比較すると、10倍に向上している。

一方、土工やコンクリーなどは、単位当たりの作業員数を見ると、近年になっても生産性はあまり向上していない。また、建設業全体でも対米国比で80%程度である。

今後10年間で高齢化等による労働力の大幅減少が避けられない建設産業においては、今、生産性を向上させなければ、現場を維持し社会的使命を果たしていくことが困難な状況になると考えられる。

しかし、見方を変えれば、この人手不足はイノベーションのチャンスである。我が国は世界有数のICT技術を有しており、生産性向上のためのイノベーションに突き進むことができるチャンスに直面しているのである。

建設企業の業績が回復し、安定的な経営環境が確保されつつある中で、生産性の向上に本格的に取り組むべき絶好の機会が到来したと言える。

今こそ、産学官が連携してi-Constructionに取り組むべき時である。

	昭和30 年代	昭和59 年度	平成22 年度	平成24 年度	
トンネル工事	58人日／ m 東海道新幹線	——	6人日／ m 近年の新幹線	——	生産性は 10倍に向上
土工	——	16人 日 1,000㎡ あたり	——	13人 日 1,000㎡ あたり	横這い 改善なし
コンクリート工	——	12人 日 100㎡ あたり	——	11人 日 100㎡ あたり	横這い 改善なし

◇言葉の窓：「ICTとは」

ICT（情報通信技術）とは、パソコンだけでなくスマートフォンやスマートスピーカーなど、さまざまな形状のコンピュータを使った情報処理や通信技術の総称。

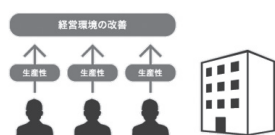
よく知られる言葉に「IT（情報技術）」がありますが、ICTはITにコミュニケーションの要素を含めたものである。

◇言葉の窓：「i-Constructionとは」

ICTの全面的な活用を建設現場に導入することにより、測量、設計、施工、検査までのあらゆる建設生産プロセスにおいて、生産性の向上を図ることを目的とした取組である。

■ i Construction の目指すもの

一人一人の生産性を向上させ、企業の経営環境を改善



建設現場での
死亡事故ゼロに



「きつい、危険、きたない」から
「給与が高い、休暇が取れる、
希望が持てる」を目指して



出典：国土交通省

2 今後の方向性

(1) 建設現場の特性

建設産業においては、「一品受注生産」、「現地屋外生産」、「労働集約型生産」などの特性があり、製造業等で進められてきた、ライン生産方式、セル生産方式及び自動化・ロボット化などの生産性向上策に取り組むことが困難であると考えられてきた。

■生産性向上が遅れている土木等の建設現場

土工や現場打ちコンクリート工の施工現場では、丁張りや足場の設置などに多くの人手を要している。

土工において人手を要する作業



丁張り※

※工事を着手する前に、盛土の高さ等を示す目印の杭を設置する作業



品質・出来形管理

コンクリート工において人手を要する作業



鉄筋



型枠

出典：国土交通省

◇言葉の窓：「一品受注生産、現地野外生産、労働集約型生産」

- ・ 一品受注型生産とは、製造する前に設計が必要な生産形態で、顧客の要求仕様に基づき、設計し、製造する生産活動のこと。
- ・ 現地屋外生産とは、様々な地理的・地形条件、及び日々変化する気象条件等に対処して現地で生産すること。
- ・ 労働集約型生産とは、様々な材料、資機材及び施工方法と専門工事企業を含めた様々な技能を持った多数の作業員による生産方法のこと。

◇言葉の窓：「ライン生産方式、セル生産方式、自動化・ロボット化」

- ・ライン生産方式とは、大量生産を行うため、作業員の配置を一連化(ライン化)させ、ベルトコンベアなどにより流れ作業を行う生産方式のこと。
- ・セル生産方式とは、少数の作業員チームで完成まで行う方式で、ライン生産方式と比較して、作業員一人が受け持つ範囲が広いのが特徴。複数のセル生産ラインを配置することにより、同時に異なった品種を生産できる。
- ・自動化・ロボット化とは、人手によらず、機械やロボットで作業すること。人手の削減、ヒューマンエラーの減少などのメリットがある。

(2)建設現場へIoT、AI、ビッグデータなどの先端技術を導入

Society5.0社会の到来を迎え、IoT、AIなどの先端技術の発達により、建設現場においても、「建設機械」と「設計データ」などの「モノ」と「モノ」とがつながることが可能となってきた。また、3次元データを活用したICT建機による施工や検査など自動化・ロボット化による生産性向上が期待される。

特に、近年の衛星測位技術等の進展とICT化により、ロボット技術やデータを活用した品質管理・工程管理が実現しつつある。今後、インダストリ4.0に代表される世界の潮流を踏まえ、建設現場においてもICT技術の本格的な導入・普及を図ることによって、建設現場を自動化・ロボット化など技術集約型の最先端の工場へ転換できる可能性がある。

◇言葉の窓：「IoT、AI、ビッグデータ、インダストリ4.0」

- ・IoTとは、自動車、家電・ロボット、施設などあらゆるモノがインターネットにつながり、情報のやり取りをすること。
- ・AI(人工知能)とは、人間の脳が行っている知的な作業をコンピュータで模倣したソフトウェアやシステムのこと。
- ・ビッグデータとは、これまでのシステムでは管理や分析が不可能だった巨大なデータ群のこと。加えて、速度や多様性、変動性、複雑性を持ったデータのこと。
- ・インダストリ4.0とは、ドイツ政府の国家プロジェクトで、そのコンセプトの中心にあるのは「スマートファクトリー」(考える工場)という考え方。スマートファクトリーは工場内のあらゆる機械設備や管理システムをインターネットに接続し、IoT、ビッグデータ、AI、産業用ロボットなどの活用し、そのことによって製造プロセスを円滑化、効率的に少量多品種、高付加価値の商品を大規模生産するための仕組み。

(3)最先端の生産システムへの改善

建設現場では一品受注生産が基本であり、発注後、仕様の確認、製作という順となり、納期に時間がかかり、待ち時間が発生するという実態があった。

設計段階では、設計と現地条件の不一致や施工性と管理の効率化まで配慮しにくいなどの課題があった。

先端技術を活用し、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおいて、3次元データを導入することで、建設生産システム全体を見通した施工計画、管理などコンカレントエンジニアリング、フロントローディングの考え方を実践していくことが可能となってきた。

例えば、設計段階に施工性や品質管理を考慮した全体最適設計の考え方を導入し、部材等の規格の標準化等を行うことにより、鉄筋のプレハブ化に伴う工場製作が導入しやすくなる。

また、最先端のサプライチェーンマネジメントの考え方を導入することにより、施工段階における原材料の調達、各部材の製作、運搬、部材の組立等の工場や現場における各工程が改善され、待ち時間などのロスが少なくなり、建設生産システム全体の効率化、生産性向上が実現できる可能性がある。

◇言葉の窓:「コンカレントエンジニアリング」、「フロントローディング」

- ・コンカレントエンジニアリングとは、設計から製造にいたるさまざまな業務を同時並行的に処理することで、量産までの開発プロセスをできるだけ短期化する開発手法。例えば、「概念設計」「意匠設計」「詳細設計」とそれに伴う「解析」「製図」「生産」の各開発過程を同時並行して行う手法で、これまで順番に行ってきた開発過程を同時並行することで、開発期間の短縮と多品種少量生産を実現しようというもの。
- ・フロントローディングとは、設計初期の段階に負荷をかけ、実際に動き出す前にしっかりと品質の検討を行うという方法。例えば、設計者が図面を完成する前から関係部門も作業を開始する。製図段階から設計者が知らなかった他部門の知識を盛り込みながら設計を行えるので、後工程での問題発覚や手戻りが少なくなる。

◇言葉の窓:「サプライチェーンマネジメント」

- ・ サプライチェーンとは

原材料が調達されてから商品が消費者に渡るまでの生産・流通プロセスのこと。

- ・ サプライチェーンマネジメントとは

モノの流れ、お金の流れを情報の流れと結びつけ、サプライチェーン全体で情報を共有、連携して最適化を図る経営手法のこと。

部分最適の和が必ずしも全体最適を意味するわけではなく、サプライチェーン全体のバランスを見て連携管理することが極めて重要となる。

つまり、サプライヤー、メーカー、物流、小売の関係性の一つ一つを最適化するのではなく、サプライチェーン全体を統括して最適化を図るのがサプライチェーンマネジメントである。

3 i-Construction の推進

(1) i-Construction の概要

i-Construction とは、調査・測量から設計・施工・維持管理までのあらゆるプロセスで、ICTの活用をはじめとした様々な分野の産学官が連携して、IoT、人工知能(AI)などの革新的な技術の導入を進めることで、生産性が高く魅力的な新しい建設現場を創出することを目的とした新たな取り組みである。

次の3つの取組からなっている。

- ・ ICTの全面的な活用
- ・ 全体最適の導入(コンクリート工の規格の標準化等)
- ・ 施工時期の平準化



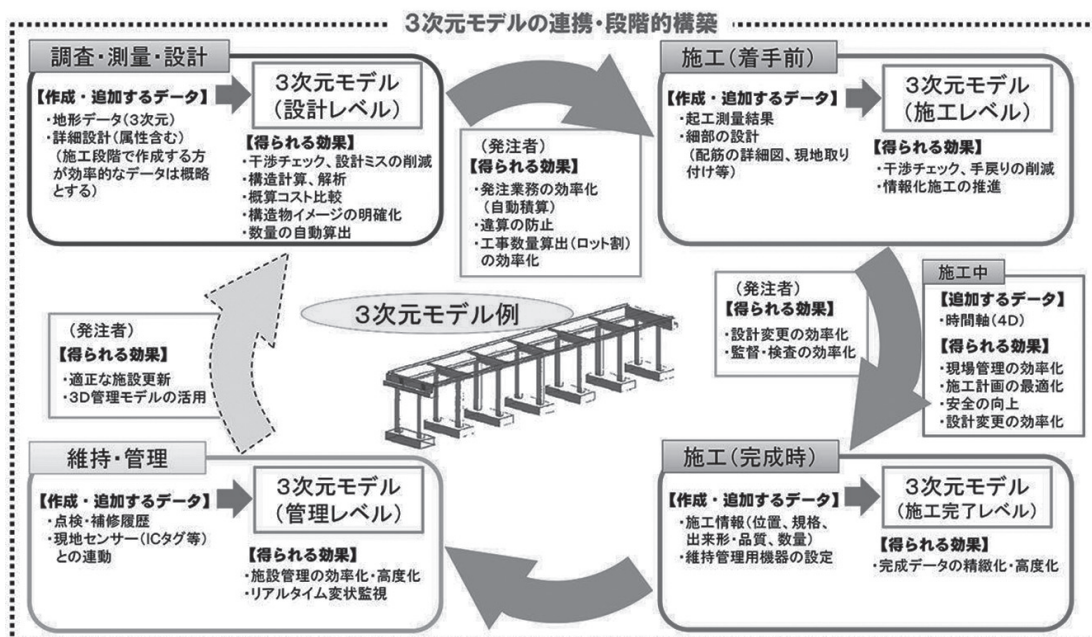
出典：国土交通省

◇言葉の窓:「BIM/CIM」

計画、調査、設計段階から3次元モデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても3次元モデルに連携・発展させ、併せて事業全体にわたる関係者間で情報を共有することにより、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図ることを目的とした取組。

CIMの概念

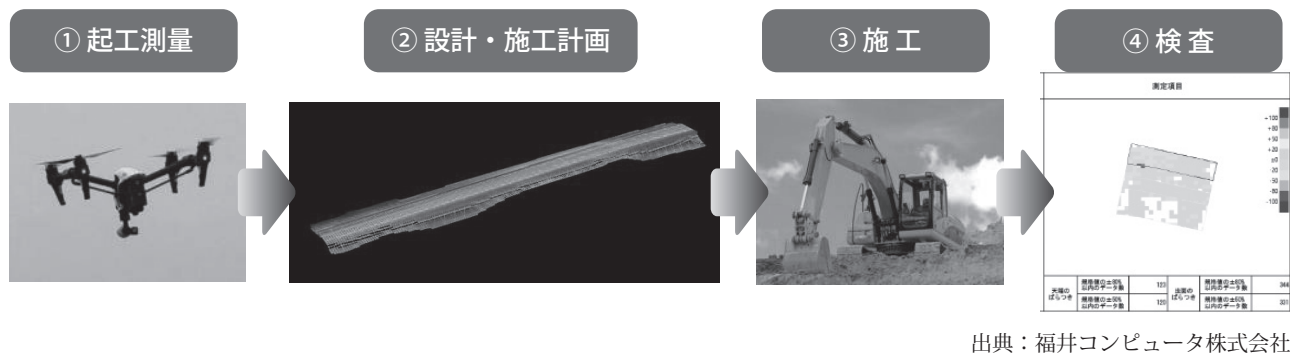
国土交通省



出典：国土交通省

① ICTの全面的な活用（ICT土工）

調査、測量、設計、施工、検査等のあらゆる建設生産プロセスに、ICTを全面活用する取組



【ICTの全面的な活用による施工プロセス】

- ・ 3次元起工測量：UAVによる写真測量等により、短時間で3次元測量を実施



- ・ 3次元設計データ作成：3次元起工測量により得られたデータ等を用いて、ICT建設機械による施工や3次元出来形管理を行うための3次元設計データを作成する。



- ・ ICT建設機械による施工：3次元設計データを用いてICT建設機械による施工を行う



- ・ 3次元出来形管理等の施工管理：施工された工事完成物について、空中写真測量、レーザースキャナ、その他の3次元測量技術を用いて出来形管理を行う。



- ・ 3次元データの納品：出来形管理等により確認した3次元施工管理データを工事完成図書として納品する

資料「ICT施工の課題」

- ・ ICT土工に対応できる技術者、技能労働者の拡大

ICT技術を全面的に導入するには、ドローン等の測量技術、3次元CAD等の設計技術、ICT建機などに対応できる技術者・技能労働者やトータルでICTを使いこなし、工事全体をマネジメントして生産性向上を導き出す技術者が必要である。

このため、工事発注機関、建設企業、測量企業、建設機械メーカー、測量機器メーカー、建設機械レンタル企業等が共同し、共通の研修体制を構築し、ICT機器に対応できる様々な分野の技術者を育成するとともに、ICT施工やICT技術の知識、技能、実務経験を有する技術者、技能労働者を確保・評価・活用するための資格制度等を検討する必要がある。

② 全体最適の導入(コンクリート工の規格の標準化等)

設計、発注、材料の調達、加工、組立等の一連の生産工程や、維持管理を含めたプロセス全体の最適化が図られるよう、サプライチェーンの効率化と生産性向上を図る取組

【コンクリート工の現状】

- ・ 現地屋外生産

気象条件により、作業が影響を受けやすく、計画的な施工が難しい。

危険が伴う労働環境での作業となっている。

- ・ 部分最適設計・一品受注生産

現地条件に応じて、技術的、社会的、経済的側面から現場ごとに最適となるよう設計、施工するため、次のような課題が生じている。

型枠設置・鉄筋組立などが建設現場ごとに異なり、複雑化している。

ストックを準備すると無駄になるリスクを抱えることになる。

工期短縮などコスト以外の観点で優位な技術が採用しづらい。



【改善のポイント】

- ・ 設生産プロセスの全体最適化

プロセス全体の最適化を図る設計や仕組みに改善する。

技術開発やフロントローディングの考え方を実現できる仕組みを整備する。

- ・ 部材規格の標準化

橋脚、桁、ボックスカルバート等の規格を標準化し、定型部材を組み合わせた施工を行う。

プレキャストの大型構造物への適用を拡大する。

- ・ 工場製作による屋内作業化

現場における鉄筋組立作業から鉄筋のプレハブ化を推進する。

型枠を構造物の一部として使用する埋設型枠の活用を図る。

- ・ 新技術の導入

鉄筋の継手、定着方法を改善する。(機械式継手、機械式定着工法)

コンクリート打設の改善を図る。(材料、方法、高流動コンクリート、連続打設工法)

- ・ 品質規定の見直し

施工の自由度を高めるため、仕様を見直す。

場製品等における品質検査項目を合理化する。

- ・ 工程の改善

調達、製作、運搬、組立等の各工程を改善する。

◇言葉の窓:「ボックスカルバート、プレキャスト、埋設型枠」

- ・ボックスカルバート

主に地中に埋設され、水路や通信線などの収容に使われる箱型のコンクリート構造物のこと。その用途は多岐に渡り、地下道・貯留槽など様々なインフラ事業で活用されている。

ボックスカルバートは、プレキャスト化することで、品質が安定し、工期の短縮につながる。

- ・プレキャスト

工場であらかじめ製造した側溝、管、マンホール、くい、橋桁や建物の一部などのコンクリート製品のこと。工事現場に運搬し、建設現場での据付けと組立を考慮して製作した、構造物や施設などを構築するための資材。

- ・埋設型枠

コンクリート打設後も取り外すことなく構造物の一部として使用される型枠のことで、装飾・機械化・省力化・高耐久性など使用目的により様々な種類がある。

◇言葉の窓:「機械式継手、機械式定着工法、高流動コンクリート、連続打設工法」

- ・機械式継手

鉄筋を直接接合するのではなく、特殊鋼材製の鋼管(スリーブ又はカブラ)と異形鉄筋の節の噛み合いを利用して接合する工法で、異形鉄筋のみに可能な継手。鉄筋に生じた引張力は鉄筋表面の節からせん断力として継手金物に伝達され、さらに、継手金物から他方の鉄筋に伝達されるという機構である。

- ・機械式定着工法

従来の片側半円形フック、片側折り曲げフックあるいは両端半円形フックとされていたせん断補強鉄筋の片側(あるいは両側)の端部を定着体に変えることにより、従来の施工では複雑だった配筋作業の効率化を図ることが可能となる工法。

- ・高流動コンクリート

単位水量を従来のコンクリートより少なくして、高い流動性を確保した、優れた施工性と高品質を兼ね備えたコンクリート。このため、過密配筋・部材断面が小さい・作業スペース不足・大量打設・リニューアル工事・鋼管充填コンクリート等通常のコンクリートでは施工が困難な箇所に利用されている。

- ・連続打設工法

コンクリートの型枠をジャッキで押し上げ、滑らせて上昇させながら、連続的にコンクリートを打設し躯体を構築していく工法で、煙突やタワー、石炭サイロなどのRC塔状構造物の施工に適用している。

③ 施工時期の平準化

年度当初に事業が少なくなることや、年度末における工事完了時期が過度に集中することを避け、債務負担行為の活用などにより、施工時期を平準化することが求められている。

現在の発注年度内に事業を終えなければならないというシステムは、年度内完了のために人材、機材を無理して投入せざるを得ない状況である。

今後は、施工時期の平準化を図るため、無理に年度内完了とせず、必要な工期を確保する必要がある。

◇言葉の窓:「債務負担行為」

将来にわたる債務を負担する行為で、複数年度にわたり支出を予定する事業などで行われる。

(2) i-Construction の目指すべきもの

i-Construction の目標は、生産性を向上させることで、企業の経営環境を改善し、現場で働く方々の賃金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現場を実現することにある

i-Construction に取り組むことで、建設現場がどのように変わり、それにより、建設現場で働く方々の処遇がどのように変わって行くのか明らかにし、関係者が共有することが重要であり、次の8点を目標として推進されている。

① 建設現場の生産性向上

I C T 技術の全面的な導入により、仕事の仕方が大きく変わる。例えば、全てのプロセスに3次元データを一貫して使う現場においては、ドローン等で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して、最適な施工計画を立案し、3次元の設計データ通りに重機の作業が進むことが期待されている。

また、監督や検査においても、G N S S ローバーやドローン等を使って現状の出来形の3次元データをごく短時間で収集し、施工管理や検査の労力を大幅に減らすことが期待されている。

施工履歴等データのリアルタイムでの記録や保存により、建設現場に係る多様なニーズに対応し、一層の生産性向上を図ることが可能となる。

受注者の負担が大きい工事完成時の検査書類も I C T や工場製作品の活用によって削減が進むと考えられる。

なお、これまでの情報化施工の施工結果から試算すると、将来的には、生産性は2倍になる見込みであり、施工時期の平準化による効果と合わせて、1人当たりの生産性が約5割向上することが期待できる。

資料「土工 1,000㎡あたりに要する作業員」

- ・昭和59年度・・・16人日
- ・平成24年度・・・13人日
- ・i-Construction の導入後・・・6人日

②より創造的な業務への転換

I C T技術の全面的な活用により、これまで人が行っていた危険の伴う作業や、厳しい環境で行う作業などの負担が軽減され、これらの作業に費やしていた時間をより創造的な業務に活用することが可能となる。

I o Tの進展は、大量生産からカスタマイズ生産へのシフトをもたらすと言われている。今後は、国民のニーズ、現場のニーズも多様化する。例えば、インフラの維持管理であれば、単純な補修から大規模更新など多種多様な対応が求められる。機械に任せることができない創造的な業務を人が行うというやりがいのある建設現場へ変えていくことが期待される。

③ 賃金水準の向上

i-Construction によって建設現場で働く一人一人の生産性が大幅に向上するとともに、施工時期の平準化が進むことで、年間を通じて仕事量が安定する。これらの企業の経営環境の改善により、現場で働く方々の賃金水準の向上が期待される。

④ 十分な休暇の取得

施工時期の平準化が進むことで、年間を通じて計画的に仕事を進めることが可能となる。土工については、I C Tの全面的な導入により、年間を通じて建設工事を効率的に進めることが可能となる。

コンクリート工においては、現場打ちの場合、工程が天候などに影響を受けるが、これを工場製作に置き換えることで、天候に左右されず計画的に工事を進めることが可能となる。このような取組により、安定した休暇の取得が可能な環境づくりが期待される。

資料「若者が建設業に就職・定着しない主な理由」(建専連アンケート調査)

- ・収入、福利：収入の低さ、社会保険の未整備
- ・休日、環境：仕事のきつさ、休日の少なさ、作業環境の厳しさ
- ・希望、不安：職業へのイメージの悪さ、仕事量の減少への不安
- ・休日の取得状況は、約7割が4週4休以下で働いている。

⑤ 安全性の向上

建設業における労働災害発生要因のうち、墜落と建設機械等の転倒、接触で約4割を占める。重機事故で最も多いのはバックホウと作業員の接触であり、全体の半数を占めている。ICT建機の活用により、丁張り等、重機周りの作業が減少するため、重機による事故が大幅に減少されることが期待されている。

コンクリート工においては、規格の標準化により、現場での作業が工場製作に変わることで、高所作業などが減少し、労働災害も減少する。また、平準化により繁忙期における工事の輻輳等が軽減され、安全性向上につながることを期待される。

◇言葉の窓:「輻輳(ふくそう)」

方々からいろいろな物が一か所に集まること。こみあうこと。

⑥ 多様な人材の活躍

i-Constructionの導入により、建設現場に必要な技術の習得に要する時間が短縮されるとともに、危険の伴う作業や厳しい環境で行う作業も無くなることから、建設現場において、若者や女性や高齢者等の多様な人材の活躍が期待される。

⑦ 地方創生への貢献

建設産業は地域のインフラを支える重要な役割を担うとともに、地域経済を支える産業の一つである。i-Constructionの導入により、地域の建設産業の生産性を向上させ、多くの魅力ある建設現場を実現することにもつながり、地域の活力を取り戻すことに貢献できることが期待されている。

⑧ 希望がもてる新たな建設現場の実現

i-Constructionの取組を通し、魅力ある建設現場を実現することで、「きつい、危険、給料が安い、休暇が取れない」と表現されることもある現状を大幅に改善し、新たな「給与が良い、休暇がとれる、希望がもてる」建設現場を創り出すことが期待されている。

第II章

3次元起工測量・出来形測量



第Ⅱ章 3次元起工測量・出来形測量

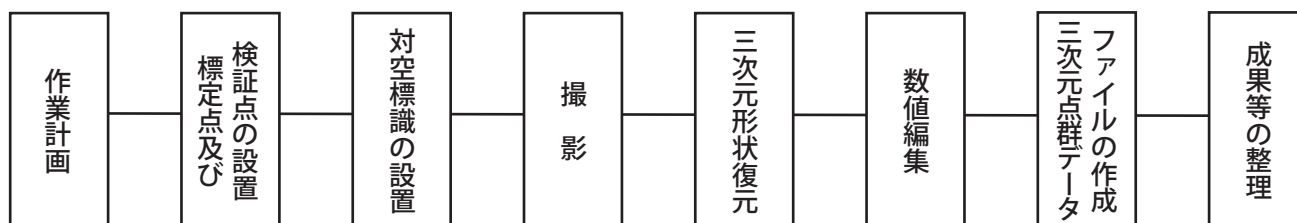
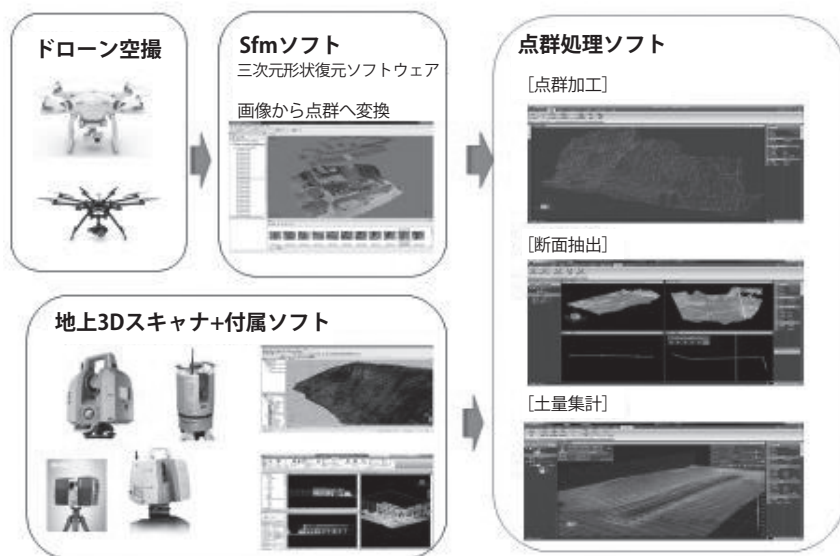
1 ICT活用工事

ICT活用工事とは、施工プロセスの全ての段階において、以下に示すICT施工技術を全面的に活用する工事であり、次の①～⑤の全ての段階でICT施工技術を活用することをICT活用施工という。

- ① 3次元起工測量
- ② 3次元設計データ作成
- ③ ICT建設機械による施工
- ④ 3次元出来形管理等の施工管理
- ⑤ 3次元データの納品

2 3次元起工測量

3次元測量（点群データ作成）



出典：福井コンピュータ株式会社

◇言葉の窓:「S F Mソフト」

- ・ドローンによる空撮写真から3次元点群データを得る自動作成手法のこと。
- ・原理的には、計測対象を様々な位置や角度から撮影した画像を写真同士の対応関係を解析することで、計測対象物の3次元点群データを獲得するというもの。
- ・得られたデータは用途に応じて、オルソ画像やT I Nデータに加工できる。

3次元測量データを取得するためには、次の技術の中から選択して測量を行う。

- ・空中写真測量(無人航空機)を用いた起工測量
- ・レーザスキャナを用いた起工測量
- ・トータルステーションを用いた起工測量
- ・トータルステーション(ノンプリズム方式)を用いた起工測量
- ・R T K - G N S Sを用いた起工測量
- ・無人航空機搭載型レーザスキャナを用いた起工測量

ここでは、U A V(無人航空機)による写真測量を取り上げる。

3 U A V写真測量

(1) U A V写真測量とは

測量とは、地球表面上の点の関係位置を決めるための技術・作業の総称で、地図の作成、土地の位置・状態調査などを行うのに欠かせない。あらゆる事業において、測量は最上流部に位置している。建物を作るのにも、道路やダムを整備するのにも、まず正確な測量を行わなければ先に進めることができない。そして、その測量成果には常に高い精度が求められる。

◇言葉の窓:「U A V写真測量」

- ・U A V

人が搭載しない無人航空機こと。代表的なU A Vがドローン。

- ・U A V写真測量

連続した航空写真を撮影し、3 D形状復元ソフトで写真から3 Dデータを作成する。現場での作業は標点設置と空撮だけのため、光波による測量や3 Dレーザスキャナによる3次元測量に比べて、現場作業時間が非常に短いことが特徴である。

① 従来の測量

従来であれば、トータルステーションやG N S S測量機器を用いて、現地の地形・地物を測定し、地形図(地図)をデータ化(C A D図面)し、2次元の平面図や設計図に起こして、工事を進めていた。

◇言葉の窓:「トータルステーション、G N S S 測量機器」

・トータルステーション(T S)

距離を測る光波測距儀と、角度を測るセオドライトとを組み合わせたもの。

・G N S S 測量機器

人工衛星から送信される電波を利用する測位方式で、従来の測量では不可能だった場所の測定が可能。天候に左右されることなく高精度の基線測定が可能である。

② U A Vでの3次元測量の特徴

ア)所要時間と費用

U A V写真測量の最大のメリットは、従来の測量に比べて、測定やデータ収集にかかる時間と費用を大幅に削減できる点である。

地上でトータルステーションやG N S S 測量機器を用いて地上で測量するのと比較するとかなり時間をかけずに済む。また、これまではセスナ等の航空機を飛ばして測量をする場合、非常に高額なコストがかかっていたが、そういった課題を解消できるのがドローン等のU A Vを用いた測量である。

例えば、地上でのトータルステーション測量では時間を要するが、U A V測量では、写真を撮って解析してしまえば、あとは3次元C A Dソフトを使って横断面図や縦断面図を簡単に作れるので、非常にスムーズで低コストである。

イ)効率化、工期短縮

詳細な3次元地形データを取得できるため、B I M/C I M のデータとして活用し、土木構造物建設の効率化を図ることも可能である。

例えば造成工事の場合、規模が拡大するに従って、工事の進捗管理のための現場地形の測量と、それによる土量の算出を行う必要性がある。従来はトータルステーション(T S)を用いた測量が行われ、測量・図面化・計算の一連の作業に人手と時間を割かなければならないという課題があった。U A V測量の効果はデータ収集の効率化にとどまらず、工期を短縮する手段としても期待を集め、工事測量では、トータルステーションやレベルによる人力測定から、レーザ・U A Vに移り変わりつつある。

なお、実際には、山を切り崩す初期工事の測量はU A Vで行い、ある程度、整地された段階の2期工事ではトータルステーションを使うなど、各工事方法の特徴を生かし工事が進められている。

③ U A V 測量の精度と航空写真測量との違い

セスナなどを使った航空写真測量に比べると、ドローンは低空で撮影する。そのため写真自体の精度が非常に高く、解像度が高いので、詳細な地形データを取得することができる。具体的な解像度の違いは、作成できる地図の縮尺でも見て取れる。

航空写真測量では、1/1000や1/2500になることが多いため、大規模な市などの地図を作成するような場合に広く使われる。一方、ドローンは、1/250や1/500と、非常に細かい精度で作成できるため、造成して分譲地を作るために地図を作成するような場合によく使われる。

航空機の測量用カメラで撮影すると、それだけで高い精度のデータを得られる。一方、U A V のカメラでは、地面に「対空標識」を設置して精度を高める必要がある。写真に写った対空標識を頼りに、地上の実際の座標と合わせることで精度を保っている。

④ 必要な計測性能及び測定精度

ア) デジタルカメラの計測性能

起工測量では、地上画素寸法が20mm/画素以内を確保できる画素数を有することが必要であり、出来形測量では10mm/画素以内を確保することが必要である。

また、使用するデジタルカメラは、インターバル撮影、または遠隔でシャッター操作ができ、連続静止画映像に対応していることが必要である。

イ) U A V の計測性能

- ・撮影計画が実行できる揚重能力及び飛行時間を確保できる機体であること。
- ・航空法に基づく無人飛行機の許可要件に準じた機体性能を有し、飛行マニュアルを整備しておくこと。
- ・所定のラップ率、地上画素寸法が確保できる飛行経路・飛行高度の算出できるソフトウェアを有すること。
- ・製造メーカー等による保守点検を1年に1回以上実施すること。

ウ) 空中写真測量(U A V)の測定精度

精度確認用の検証点を現場に設置し、空中写真測量から得られた計測点群データ上の検証点の座標と真値の位置座標を比較して起工測量では±100mm以内、出来形測量では±50mm以内であること。

エ) カメラキャリブレーション

カメラのレンズにはひずみがあり、それを補正する必要があるので、S F Mソフトによりカメラキャリブレーションを行うこと。

◇言葉の窓：「地上画素寸法」「画素」

- ・ 地上画素寸法とは

1 画素に対する地上の寸法。

- ・ 画素

別名「ピクセル」ともいう。「ピクセル」はデジタル画面で画像を扱う時の最小単位である。例えば、デジカメで「100万画素」といったら 1 つの画像に100万個もの点・ピクセルがまわっているということ。

画素数が上がるとピクセルの点が小さくなり増える。増えた分だけピクセルに色情報量を持たせることができるので画像を綺麗に表現できる。

◇言葉の窓：「検証点」

- ・ 空中写真により得た位置座標の計測精度を確認するために必要となる位置座標を持つ点。
- ・ 季節の基準点及び工事基準点の座標を用いる。

(2) UAV 写真測量のメリット

- ① 航空機より低空で撮影のためデータの高解像度が高く、写真が非常にきれいで、細かなデータの取得が可能である。
- ② 3Dモデルを使って、例えば土量や、産業廃棄物の体積量などを取得でき、どれぐらいの時間でどれぐらいの土量を運搬できたかや、堆積廃棄物の処理にどれぐらい時間がかかったのかなどがわかり便利である。
- ③ ドローンでは大体3～4haを撮るのに、1時間もかからない。これを地上で人が動いて行くと、大変な時間がかかるため、時間を大幅に短縮できる。

また、人ではどう頑張っても1日に限られたポイント程度しか取れないが、ドローンなら何百万点、何千万点という座標を短時間とれ、従来手法での測量業務よりも安価にできる。

- ④ 河川の奥など、なかなか人が入れなかったり、川を渡ったりする必要がある場所でも容易に測量が可能である。対空標識を置く必要があるが、人が立ち入る箇所はかなり少なくなる。
- ⑤ 地上で人がトータルステーションやGNSSの測量機を使って測量した場合と比べて、ドローンは3Dモデルの点群データを得られ、3DCADで扱いやすいデータになる。

4 UAV(無人飛行機)の飛行規程概要

(1) 飛行ルールの対象となる機体

平成27年9月に航空法の一部が改正され、平成27年12月10日からドローンやラジコン機等の無人航空機の飛行ルールが新たに導入されることとなった。

今回の法改正により対象となる無人航空機は、「飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって構造上、人が乗ることができないもののうち、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの(200g未満の重量(機体本体の重量とバッテリーの重量の合計)のものを除く)」です。いわゆるドローン(マルチコプター)、ラジコン機、農薬散布用ヘリコプター等が該当する。

(例)



(ドローン(マルチコプターA))



(ラジコン機)



(農薬散布用ヘリコプター)

(2) 小型無人機等飛行禁止法

小型無人機等飛行禁止法により飛行が制限されている施設

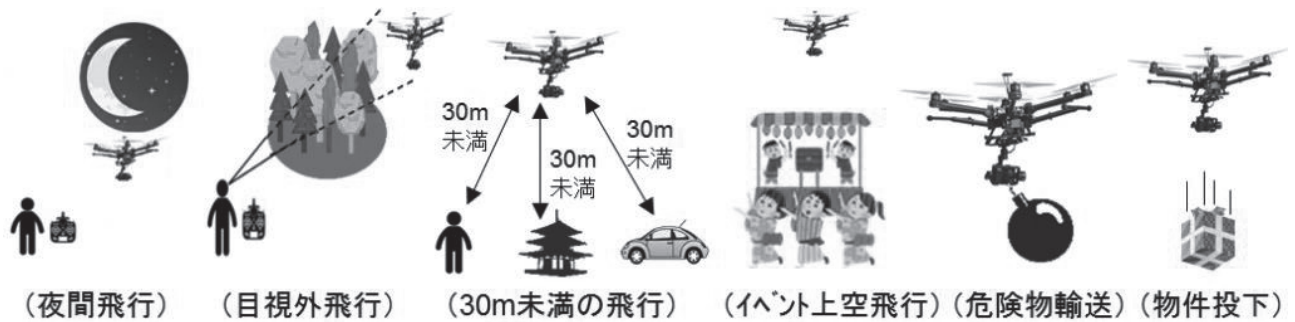
- ・ 国の重要施設等(国会議事堂、首相官邸、対象危機管理行政機関庁舎、最高裁判所、皇居・東宮御所、政党事務所等)
- ・ 対象の外国公館等
- ・ 対象の原子力事業所

対象施設の上空及び敷地内はもちろんのこと、その周囲300mを基準に番地単位で指定されたエリアについても、同様に飛行制限されている。

(3) 航空法による飛行禁止事項

- ・ 夜間飛行の禁止: 日中(日出から日没まで)に飛行させること。
- ・ 目視外飛行の禁止: 目視(直接肉眼による)範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること。
- ・ 第三者、第三者の財産から30m以内での飛行の禁止
- ・ 催し物上空での飛行禁止: 祭礼、縁日など多数の人が集まる催しの上空で飛行させないこと。
- ・ 危険物輸送の禁止: 爆発物など危険物を輸送しないこと。
- ・ 物件投下の禁止: 無人航空機から物を投下しないこと

【承認が必要となる無飛行】

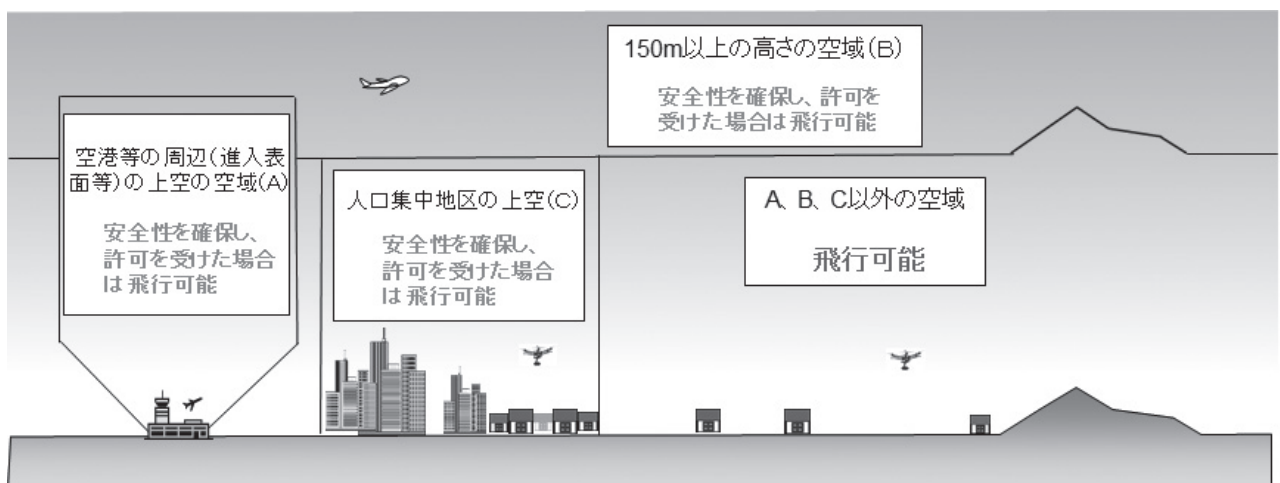


出典：国土交通省

(4) 航空法による航空機の飛行の許可が必要となる空域

以下の「①～③」の空域のように、航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域や、落下した場合に地上の人などに危害を及ぼすおそれが高い空域において、無人航空機を飛行させる場合には、あらかじめ、国土交通大臣の許可を受ける必要がある。

- ・ 空港等の周辺の空域
- ・ 地表又は水面から 150 m 以上の高さの空域
- ・ 人口集中地区の上空



(空域の形状はイメージ)

出典：国土交通省

(5) 「飛行情報共有システム」(F I S S)

- ・ ドローン同士の接触や有人機とのニアミスといった事故の防止策として、ドローンの運航者が飛行日時や場所、高度などの情報を登録する情報共有サイト「飛行情報共有システム」を開設し、登録するよう運航者側に義務付けた。(2020年7月から完全義務化)
- ・ 飛行許可は、運航者側が飛行の都度に申請する「個別申請」と、1度の申請で最長1年間にわたり複数回の飛行が可能となる「包括申請」の2つに大別される。包括申請の飛行実績は3カ月ごとの事後報告。
- ・ これまで事前に飛行状況の把握はできなかったが、今後は全機体の飛行計画をあらかじめ確認できるようになる。

(6) その他、留意事項

① 電波干渉が強い場所での飛行は危険

周囲に電子機器や電波塔などがあると、ドローンのコンパスキャリブレーションは正常に行えない場合がある。仮にキャリブレーションがうまくいったとしても、電波干渉が強い環境ではコントローラーの信号が混信して操縦不能になる。

② 風雨の中での飛行は控えること

多くのドローンは防水、防塵の機能を備えていない。雨風の中での飛行は、機体の故障や思わぬ事故につながりかねないので控える。

③ 令和元年9月18日付航空法追加事項

- ・アルコール又は薬物等の影響下で飛行させないこと
- ・飛行前確認を行うこと
- ・航空機又は他の無人航空機との衝突を予防するよう飛行させること
- ・他人に迷惑を及ぼすような方法で飛行させないこと

④ 無人飛行機の飛行に関する法規制は、整備途上であるため、今後の法改正に注意すること。

(7) 無人航空機の飛行に関する Q & A

Q1 航空法上の「無人航空機」とはどのようなものを指すのか。

A1 構造上、人が乗ることができない機器であって、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるものを指すが、重量(機体本体の重量とバッテリーの重量の合計)200g未満のものについては、「無人航空機」には該当しない。

Q2 従来の「ラジコン」も「無人航空機」に含まれるか。

A2 従来の「ラジコン」も重量200g以上のものは「無人航空機」に含まれる。

Q3 ゴルフ練習場のようにネットで囲われたようなところで飛行させる場合も許可が必要か。

A3 無人航空機が飛行範囲を逸脱することがないように、四方や上部がネット等で囲われている場合は、屋内とみなすことができるので、航空法の規制の対象外となり許可は不要である。

Q4 「日出から日没までの間」とはどのような時間帯か。

A4 国立天文台が発表する日の出の時刻から日の入りの時刻までの間になる。このため、「日出」及び「日没」については、地域に応じて異なる時刻となる。

Q5 「目視により常時監視」とは双眼鏡による監視や補助者による監視でもよいのか。

A5 「目視により常時監視」とは、飛行させる者が自分の目で見えることを指し、双眼鏡による監視や補助者による監視は含まない。なお、眼鏡やコンタクトによるものは「目視」に含まれる。

Q6 飛行の空域や飛行方法に違反した場合、どのような罰則が科せられるのか。

A6 50万円以下の罰金が科せられる可能性がある。

Q7 機体や操縦技能についての認定等が義務付けられるのか。

A7 航空法による義務付けはないが、安全飛行のため、飛行クラブや愛好者団体等が行っている機体や操縦技能の認定制度等への積極的な参加を推奨する。

5 UAV写真測量から3次元データファイル作成の手順

手 順	必要機器
1 作業計画を立てる。	
↓	
2 標定点及び検証点を設置する。	
↓	
3 UAV（ドローン）で写真撮影する。	UAV、デジタルカメラ
↓	
4 3次元形状復元計算をする。	写真測量ソフトウェア
↓	
5 点群編集をする。	点群処理ソフトウェア
↓	
6 3次元点群データファイルを作成する。	3次元設計データ作成ソフトウェア
↓	
7 品質を評価する。	出来形帳票作成ソフトウェア
↓	
8 成果等を整理する。	出来形計算ソフトウェア

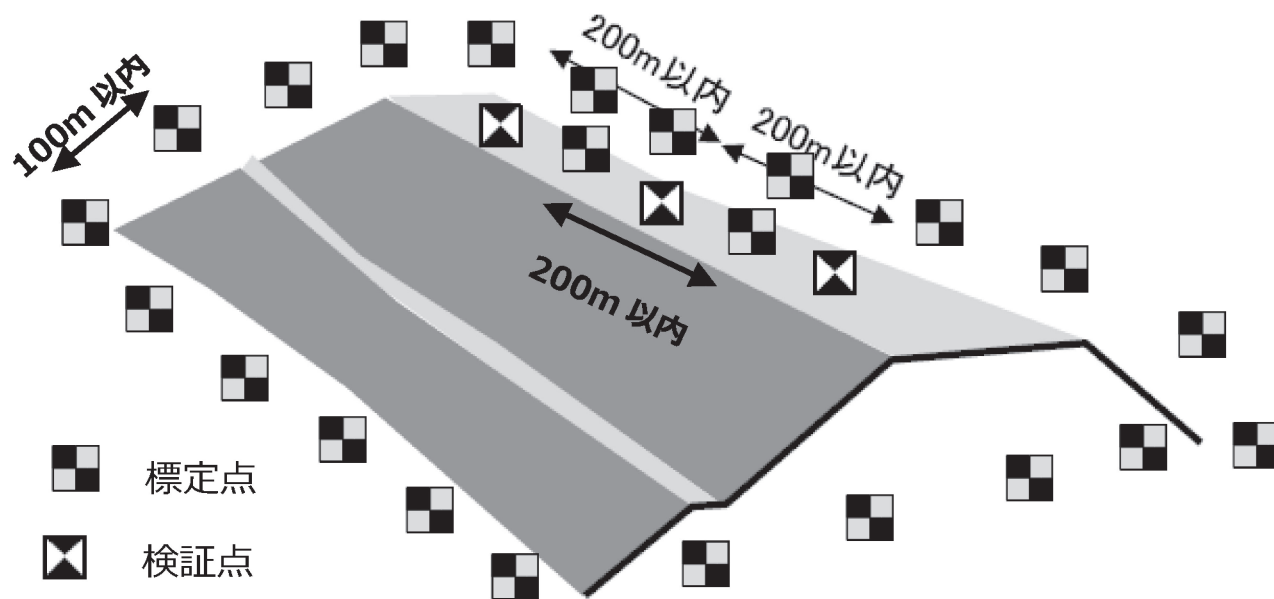
(1) 作業計画時の留意点

- ・ U A V は気象条件に大きく影響を受けるため、予定日にフライトさせられないことが多い。予備日を設けておくことが必要である。
- ・ 航空法に基づき、許可・承認等をきちんと取得しておくこと。

(2) 標定点・検証点の設置

標定点はドローン測量を行う際の基準となり、写真に座標付けを行うために必要となる点である。検証点は精度を検証するための点となる。

- ① 標定点及び検証点の測定は従来の測量手法で行う必要がある。トータルステーション(T S)や、衛星からの位置情報で測位する G N S S ロバーを用いる。
- ② 標定点は、計測対象範囲を包括するように、撮影区域外縁に100m以内の間隔となるよう設置する。天端上に200m間隔程度を目安に設置する。
- ③ 検証点は、天端上に200m以内の間隔となるように設置する。標定点として設置したものと交互になるようにする。計測範囲が狭い場合については、最低2箇所設置する。



出典：株式会社建設システム

④ 対空標識の中に標定点・検証点を設置する。

対空標識は U A V で撮影した写真から各点を容易に確認できるようにするため。

また、三次元形状復元ソフトによっては、対空標識を自動認識できるため、各点への座標データの流し込みが楽になるというメリットもある。

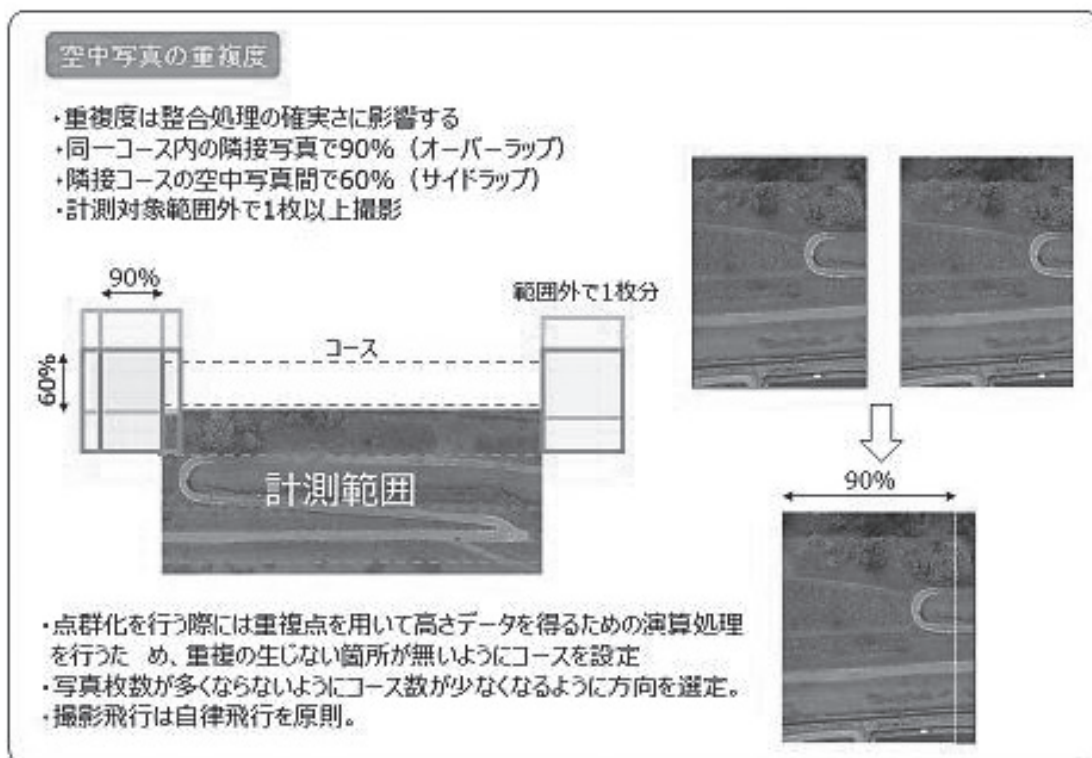
(3) UAV(ドローン)による写真撮影

① 標定点・検証点が設置できたらUAVを飛行させて空中写真を撮影する。

② 写真は前後左右の写真と重なる(ラップする)ように撮影する必要がある。

飛行アプリによってはラップ率を自動計算して飛行してくれるものもあるが、そうでない場合にはUAVの飛行高度とカメラ解像度、飛行速度等からシャッター間隔を計算して飛行させる必要がある。

③ 基準では縦方向のラップ率が90%以上、横方向のラップ率が60%以上となるよう飛行計画を立てる。なお、ラップを解析するソフトによることが証明できれば、縦を80%とすることができる。



出典：福井コンピュータ株式会社

④ 基本的にカメラは真下を向けて撮影を行い、一定の飛行速度でインターバル撮影をしながら写真撮影する。

- ・ドローン測量に最も適している天候は曇りの日である。
- ・快晴で日差しが強いと影による影響が三次元モデル化の際に品質として出てしまう場合がある。

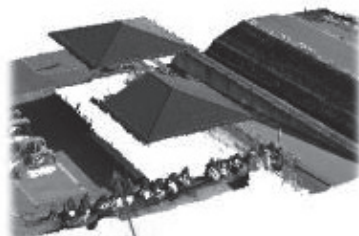
⑤ 写真撮影後は、撮影した写真を確認する。

撮影した写真を確認すると、連続写真に抜けがあったり、ピンボケやブレが発生してしまっていることがあり、そうなると作成する点群の精度が低下したり、点群の無いブランクとなってしまうことがある。

⑥ 不備が確認された場合には再度撮影を行う。

撮影時の気象条件

日当たりや明るさや風速、風向、地形や建物の影の影響により、作成される点群の品質に差が生じることを認識する必要がある。



・日当たりがよいと、影がそのまま点群化される



・風により、墜落の危険や品質に影響を及ぼす。
・風によりルートを外れると品質が落ちる。

出典：国土地理院

(4) 3次元形状復元計算

連続写真が撮影できたら、それらを写真測量ソフトである三次元形状復元ソフト(SFM)解析し、三次元点群モデルを作成していく。

(5) 点群編集・3次元データファイルの作成

- ①点群編集とは、SFMソフトで作成したオリジナルデータから必要に応じて、樹木や草木などの不要点の除去や点群の補間等を行い、グランドデータやTINデータ(不等三角網の面の集合体で地形形状を表す)やDEMデータ(一定の格子間隔で地形の形状を表す)を作成する。作業のこと。この作業には、マシンパワーのあるパソコンが必要となる。
- ②この時点で出てくる点群は特徴点だけなので、まだ間の空いた状態である。そこで今度は各点の間を補完する高密度クラウドの作成を行う。こうすることで密度の高い、三次元モデルのような点群が完成する。
- ③厳密には点群モデルは隙間があるため、3次元モデルとは別のものである。そこで今度は点と点を結んで「面」にするメッシュ構築という処理を行う。
- ④こうして3次元モデルが出来上がったら、各標定点や検証点に予め測量しておいた座標を入力する。
- ⑤各基準点の座標が分かるので、相対的にどこの点をとっても、実際のスケールで座標、距離、面積、体積が求められるようになる。
- ⑥クラウドデータ又は変換した構造化データである3次元点群データファイルを電磁的記録媒体に記録し、完成となる。

資料「点群処理の概要」

- ①ドローンを飛ばす前にマーク点を決め、位置を測量機GPSで測量しておく。
- ②座標軸を入れ替える。
 - ・日本の測量系座標のゼロ度は、時計の12時、縦がX軸で、横がY軸。
 - ・写真では、数学系の座標軸を採用しており、ゼロ度は時計の3時で、縦がY軸で、横がX軸。
 - ・よって、画像処理する前に測量系のX軸とY軸に入れ替える必要がある。
- ③写真に現地で緯度・経度を測量しマークしたデータを付け加える。
 - ・1枚ごとにマークが必要であり、写真が多いと作業量が多くなる。

◇ 点群の編集(不要な点の削除、必要な点の抽出)

多種多彩なフィルター機能

高性能なフィルター機能(ごみ取り)を豊富に搭載し、効率よく点群データを加工できます。



出典：福井コンピュータ株式会社

6 写真測量の原理

(1) 点群と座標

- ・撮影した点群は、点の群れであり、それぞれの点が直交座標(X Y Z)と色の情報を持っている。つまり、点群はそれぞれ座標を持っている。
- ・座標を持っているので、A点からB点までの距離や高さが分かる。
- ・距離と高さが分かれば面積や体積も求めることもできるようになるという仕組み。
- ・この仕組みにより、写真で測量できる。

(2) 立体視

- ・2次元の写真から、3次元の点群の生成は、「視差」と呼ばれる原理を応用している。
- ・視差とは、観測点の違いにおける対象物の見え方の違いのことを意味する。

- ・人は物を立体として捉えることができるが、それは目が左右別々の位置についていることに起因する。
- ・片目ずつ目を閉じて試してみると、右目と左目で見えている範囲が違っていることが分かる。右目と左目で微妙に見えている映像がズレているのである。
- ・人は、この見え方の違い、ズレを脳内で統合することで、物を立体的に見ることができる。これを「立体視」という。
- ・これと全く同じことをU A Vが撮影した写真で行うのである。

(3) 立体視の原理を応用した3次元点群生成の仕組み

- ・立体視の原理を応用し、U A Vが撮影する写真は完全に別の地点を写すのではなく、前後の写真と重なり合うようにして撮影する。
- ・こうすることによってコンピュータ上で「視差」を計算し、高さを求めることが出来るという仕組みになっている。

(4) 3次元形状復元

- ・立体視の原理によって物を立体的に見ることができるようになっても、それは厳密な高さを表していない。疑似的な立体である。
- ・電車に乗っている時に、窓から外を眺めると車両からすぐ近くにあるものは、あっという間に流れていってしまうが、それよりも遠くにあるものは、ゆっくり見える。
- ・これが観測地点と対象物までの距離の違いによって起きるもう一つの「視差」である。
- ・ドローン測量で利用するS F M処理ソフトは、こうした視差から得られる情報を基に物体の高低差を計算し、3次元形状を復元している。
- ・ラップ率(重複度)が高ければ高いほど、視差を基にして計算できる情報量が増えるので精度が上がる。
- ・視差を利用して復元した正確な高低差を持つ3次元モデルに、標定点の現場の座標を複数割り当てることで、出来上がった3次元モデルはどこをとっても、現実世界と同じスケールで測位できるようになる。

7 レーザー測量

(1) レーザ測量とは

レーザスキャナで指定した範囲にレーザを連続的に照射し、その反射波により、対象物との相対的位置(角度と距離)のデータが得られることで、一度に大量の点群を取得できる。

この点群データは、座標値(X Y Z)を持っていて、3次元点群データを直接取得できるメリットがある。

(2) レーザ測量の特徴

- ・直接点群データを取得できる。
- ・それも、1点1点計測していくのではなく、面的にレーザを照射することで1秒間に万単位の点群を取得することが可能。
- ・直接点群データが取得できるため、S F M処理は不要。その代わりに「プロセッシング」という後処理を行って、取得データを点群モデルに変換する必要があるが、作業効率はグンと高まる。

(3) レーザ測量の手順

① 基準点の設定

- ・3 D測量を行う上で、測量範囲の全てを補えるように基準点を選点し、また基準点が流失しないように動かないように設置する。

② 基準点測量

- ・現地において、トータルステーションを用いて選点した箇所の測量を行い、座標値を計測する。

③ レーザスキャナ測量

- ・基準点測量で計測した箇所を3 Dレーザスキャナで測量する。
- ・なお、川底などのレーザ測量は、グリーンレーザにより浅い水深のところで測定が可能となりつつある。また、雨などの日もレーザの反射・屈折で一部測量値がずれる恐れがある。

④ 点群作成

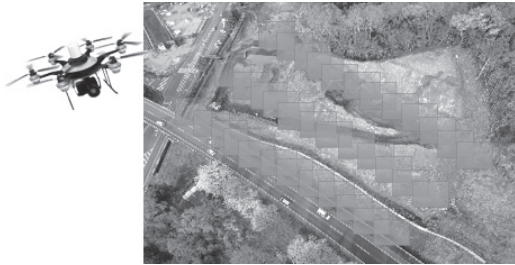
- ・それぞれの測量データに座標を読み込み、地形が完成すると複数の測量データを1つにまとめる。
- ・点群データにカラーマッピング(写真の合成)することで、点群に色が配色されより鮮明な点群データが作成できる。

⑤ 点群処理

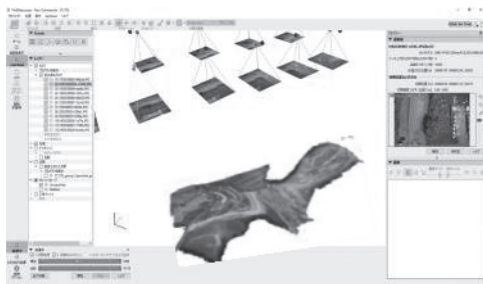
- ・点群のフィルタリング(木や人物、車等の不要な点の削除)し、地表面だけの点群を作成する。
- ・地表面のみの点群になったら点群に面(メッシュ)を張る。
- ・面を張ることでメッシュ土量計算、コンクリートの容量計算なども可能になる。1回測量した後に、2回・3回と測量してその差分も計測が可能。

3次元起工測量から施工量算出の流れ

UAV写真測量



写真解析
(3次元座標点群算出)



点群データの処理
(起工測量データ抽出)



3次元決系データ作成

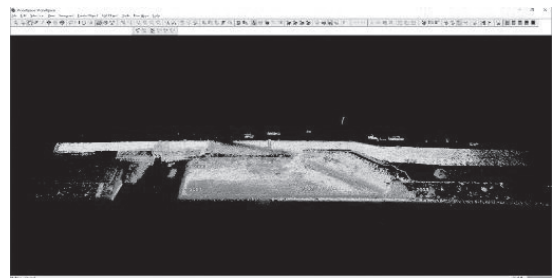


施工量算出

レーザー測量



写真解析
(3次元座標点群算出)



点群データの処理
(起工測量データ抽出)

3次元決系データ作成

施工量算出

出典：株式会社建設システム

(4) 写真測量とレーザ測量の違い

① データ取得手法の違い

- ・ 写真測量は、物体の立体形状を求めるためには、十分な数の特徴点が得られることが必要条件となる。この条件を満たさない透明なもの、光沢が強いものは測量できない。
- ・ レーザ測量では、計測装置からレーザを発射し、物体や後方に散乱した反射波を受光し、物体までの距離と反射強度の情報を得る技術である。レーザ測量では、物体に対し直接レーザを放射するため、物体表面の材質等はほとんど影響がない。

② 取得データの違い

- ・ 写真測量は、二枚の写真に写っている物体上の同じ点を、三角測量の原理で座標計測する。したがって、写真に写っていない物体(例:森林の下の地面)や、複数の写真に写っていない(単体の写真にしか写っていない)物体については、計測を行うことはできないため、情報は得られない。
- ・ レーザ測量では、計測装置から放射したレーザ光が物体に反射して、計測装置に到達するまでの時間を計測する。一回のレーザ光の放射により、経路上の複数の物体からの反射波を得る。例えばレーザ光がAの物体の隙間を通過して地表面に到達した場合は、Aの物体と地表面までの距離の、少なくとも二つの距離情報を得ることができる。また、自らレーザを照射するため、環境光の影響は少ない。
- ・ ただし、レーザ測量では、霧や雲、水面など、レーザ光を吸収する物質で満たされている場合は計測することができない。

③ データ取得時間の違い

- ・ 写真測量では、対象物の3次元形状を求めるために、異なる位置から対象物を撮影した複数枚の写真を必要とする。カメラリグ(数個~数百個のカメラが設置された設備)を使用すれば、多視点の写真を一回のシャッターで撮影することができるため、動く物体の計測も可能である。地形のように、対象物のサイズが大きく不動な場合は、航空機等で飛行しながら垂直直下方向の写真を撮影することで多視点の写真を撮影する。この場合は、情報の取得にかかる時間は長くなる。
- ・ レーザ測量では、装置から発射されるレーザは1筋であるが、装置の内部にある回転ミラーを高速で動かすことにより、上下または左右方向について、連続的にレーザの放射と反射波の受光を行う。地上レーザ測量の場合は、計測装置をゆっくりと回転させることにより水平方向をスキャンニングする。

④ 解析時間の違い

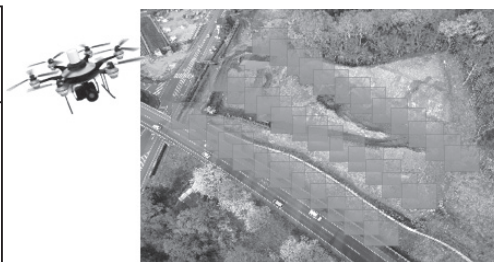
- ・ 写真測量の場合は、使用する写真の総画素数と枚数、ワークステーションの計算性能に依存する。利用目的に応じて解析の時間・コストの調整ができることも特徴である。
- ・ レーザ測量、特に地上レーザ測量の場合は、点群データの地上基準点へのジオリファレンス、地表面から離れた位置に生じた計測点などのノイズフィルタリング、複数の地点から計測した点群の位置合わせを行うレジストレーションなどの作業を行う。

⑤ 精度の違い

- ・単純比較はできない。
- ・原理的な誤差、計測環境に起因する誤差、地上基準点の座標計測誤差、観測技能による誤差が考えられる。

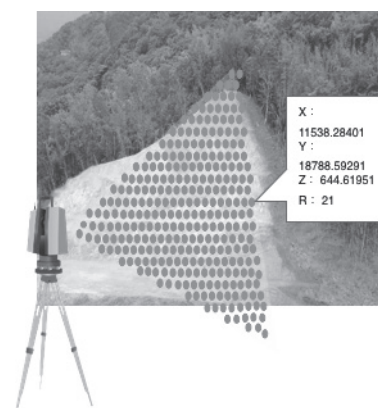
UAV写真測量

メリット	・人が立ち入れない箇所でも、計測が可能。
デメリット	・高架線や民家が隣接している場合など計測できない場所がある。 ・測量結果として3次元点群(3次元座標)を取得するためには写真測量ソフトで処理が必要であるため結果取得までに時間がかかる。



レーザー測量

メリット	・2～3cm程度の位置精度である。 ・測量結果としての3次元点群データ(3次元座標)を直接取得できる。
デメリット	・計測箇所をピンポイントに計測できない。 ・取得データの計測密度にばらつきがある。 ・機材設置の移動が多くなると、その都度、標定点の計測が必要となるため非効率になる場合がある。



出典：株式会社建設システム

(5) レーザーを用いた様々な測量

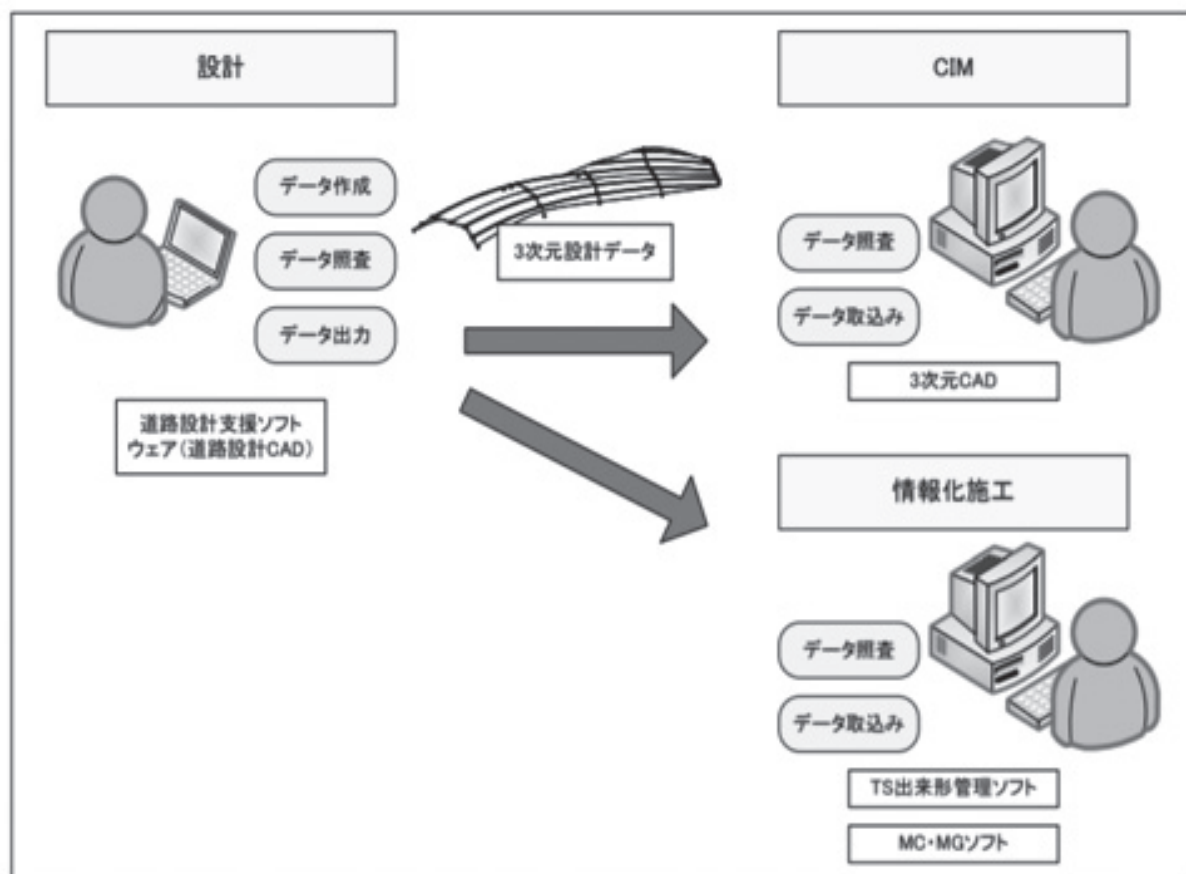
① 3 D レーザースキャナ測量	・ 三脚に据えた機械から放射状にレーザーを照射する。 ・ 機械に近いほど高い密度・精度で測量できる。 ・ 機械が動かないため、補正の必要がなく、誤差が2～3 mmの高精度である
② M M S 測量	・ M M S 機(モバイルマッピングシステム)を車両に搭載し、動しながら G N S S、3 D レーザースキャナ、高画質カメラで囲を計測する。 ・ 機械そのものが移動しているので、広範囲を短時間で測量できる。 ・ 広範囲を均一な密度で測量できる。 ・ 時速40kmで走行すれば、5 cmピッチの高密度なデータが計測できる。
③ U A V レーザー測量	・ 3 D レーザースキャンをドローンに搭載することにより、広いエリアをブラインド部ができにくく測量できる。 ・ 広範囲を均一な密度で測量できる。 ・ 水深の浅い川で、グリーンレーザを使うなら、ある程度の川底の形状も計測できる

第Ⅲ章

I C T 施工



1 ICT施工の概要



出典：福井コンピュータ株式会社

2 3次元設計データの作成

3次元設計データの作成は、設計図書(平面図、縦断図、横断図)と線形計算書に示された情報から、幾何形状の要素を読み取って作成する。

◇言葉の窓:「幾何形状」

始点や終点の座標、半径、縦断曲線長、横断形状などの図形や空間の形状

(1) 3次元設計データ作成のポイント

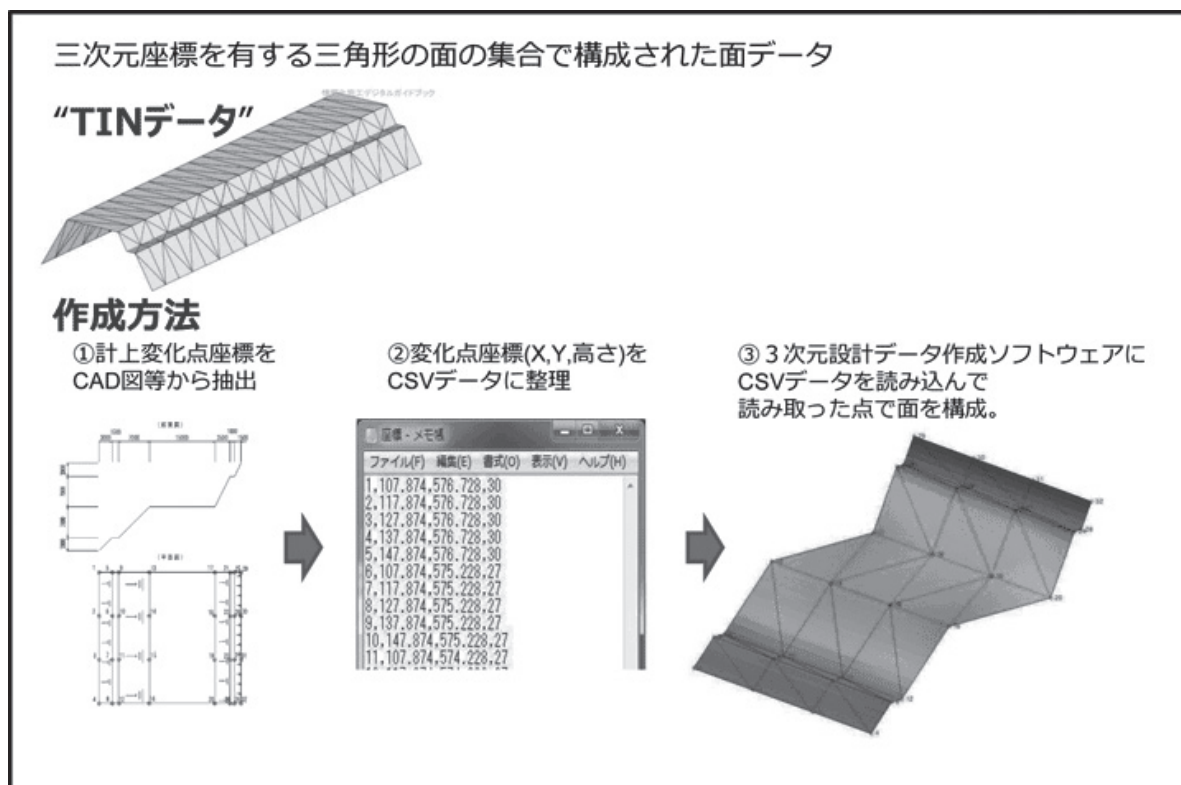
- ・ 起工測量の結果を3次元設計データソフトウェアに読み込み、発注図の現況地形と異なる場合は、発注者と協議し、3次元設計データ作成に反映させる。
- ・ 曲線部では、管理断面間を細かい断面に分割して3次元データ化する必要がある。このため、線形の曲線区間は、曲線半径に応じた横断形状を作成した後にT I Nを設定する。

◇言葉の窓:「T I N」

- ・ T I Nは、X、Y、Zの3次元情報を持った点と線を3次元上の直線でつないだ三角形の集まりとして配列されたもの。
- ・ 変化に富んだ点の配列ができることから、正確な地形を表現する上で重要である。
- ・ 斜面や地形面などといった地形の3次元的形状を表現するのに適している。

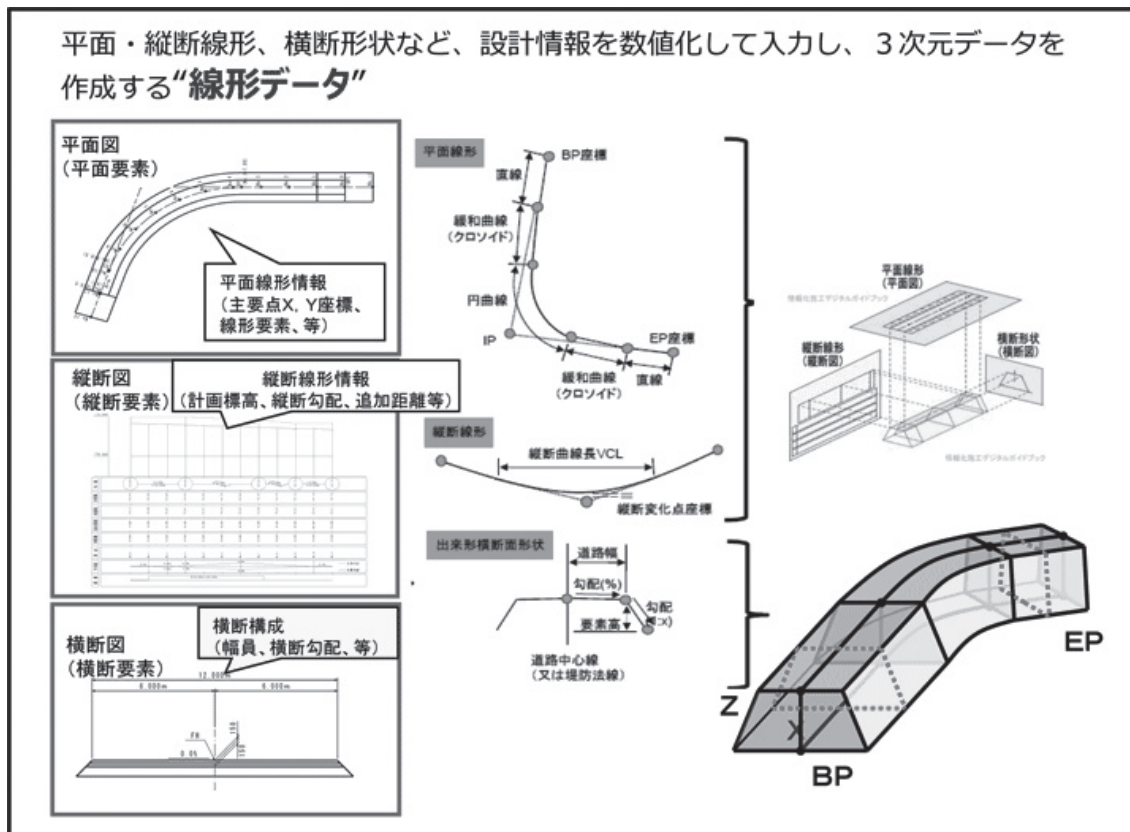
◇資料: 3次元設計データの2種類の作成方法

① T I Nデータ



出典：株式会社アクティオ

② 線形データ



出典：株式会社アクティオ

(2) 3次元設計データの作成概要

① 設計図面 (CAD図面) の確認・照査



② 主要座標入力 (役杭、IP点、基準点など)



③ 路線線形入力 (曲線要素をもとに入力)



④ 縦断線形入力 (勾配変化点の入力)



⑤ 横断線形入力 (図面より取得)



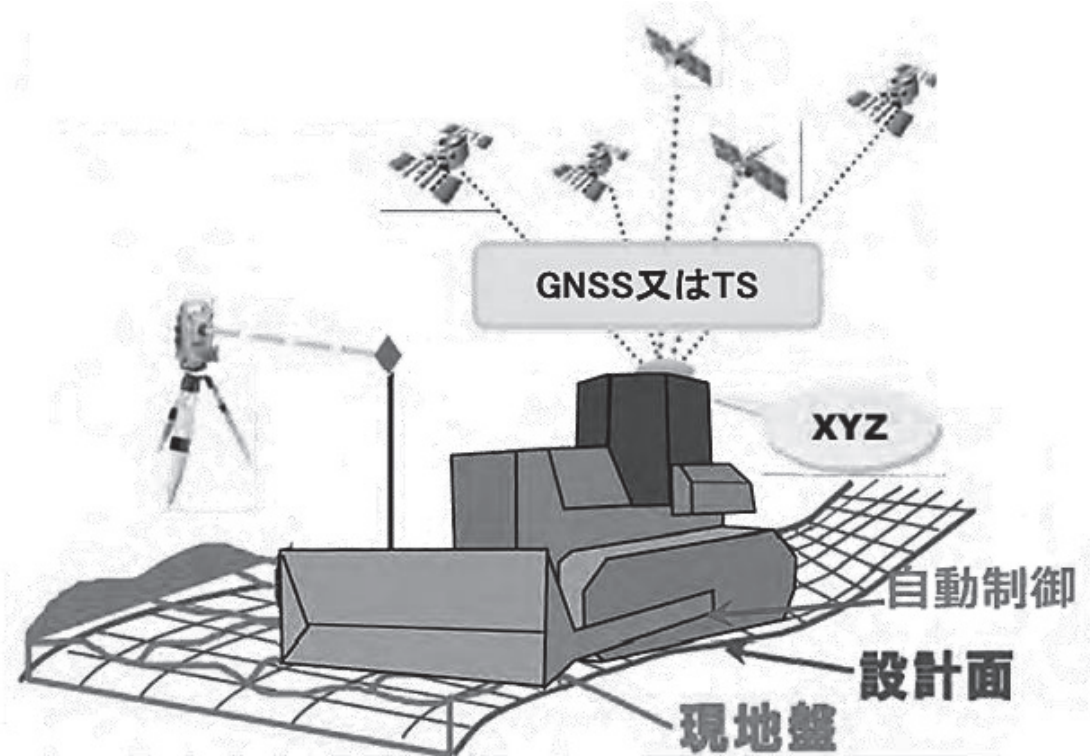
⑥ 3次元設計データの出力

3 ICT施工

(1) ICT 施工に使われる 技術・位置を測る技術(測位技術)

ICT 施工で共通的に利用する技術で、トータルステーション(TS)、汎地球測位航法衛星測位システム(GNSS)などの機械がある。

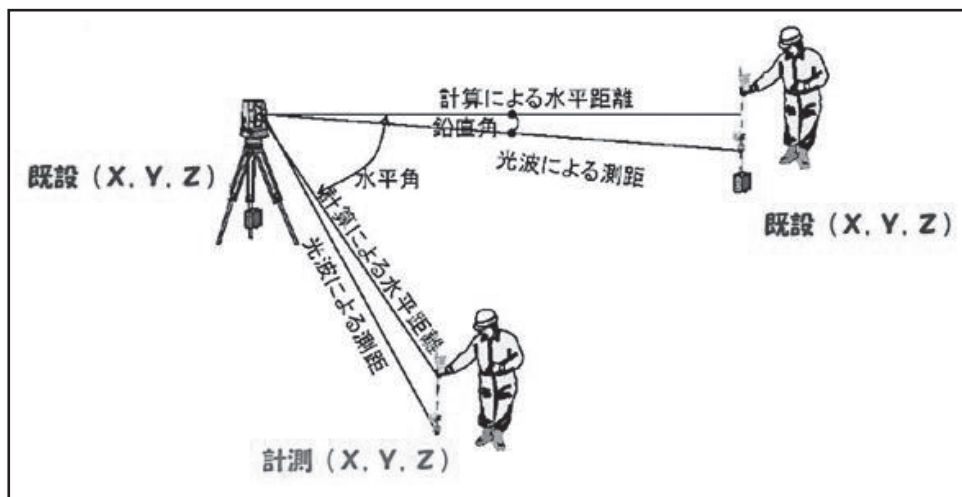
トータルステーション (TS)	・ 1 台の器械で角度(鉛直角・水平角)と距離を同時測定できる電子式測距測角儀。 ・ 測定した角度と距離から未知点の 3 次元座標算出ができる。
汎地球測位航法衛星測位システム(GNSS)	・ 人工衛星を用いて位置を算出するシステム。 ・ 既知点(定置基準局)と相対測位 により精度を確保する。(精度は 2～3 cm ～10m程度のものがある。ただし、ICT 施工では、水平精度 2～3 cm、鉛直精度 3～4 cm のものを使用する。)



出典：国土交通省関東地方整備局

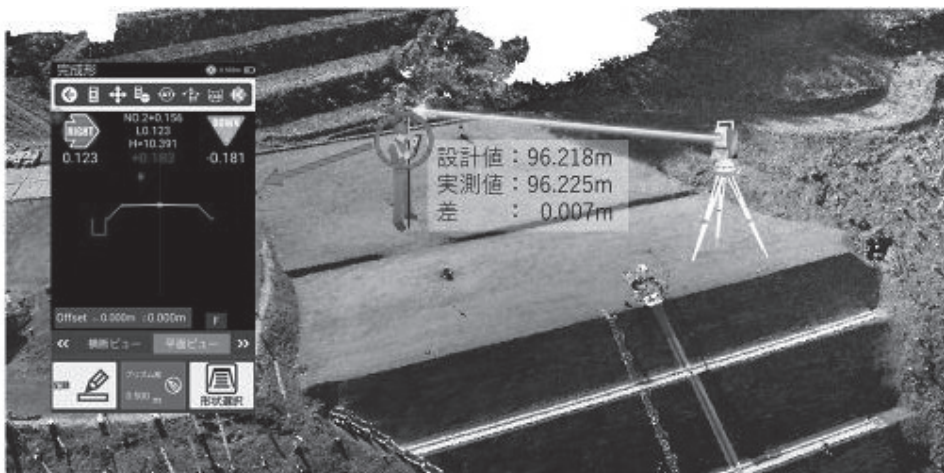
① トータルステーション (T S)

- ・「距離と角度」を同時に測る測量機器。
- ・距離と角度が同時に測れることで、3次元空間座標(X、Y、Z)がその場で電子データとして得られる。
- ・座標が簡単に算出できるため、面積算出、位置計測に効果が発揮される。
- ・計測方法は、測量用プリズムを設置して計測するプリズム測距と、設置しないノンプリズム測距がある。
- ・測量用プリズムを自動的に追尾する自動追尾型があり、広く情報化施工に活用することが可能である。
- ・T Sの特長は、測位精度が1cm以内程度(等級による)と高いが、建設機械1台(ミラー)に対して対応するT Sが各1台必要となる。



出典：国土交通省

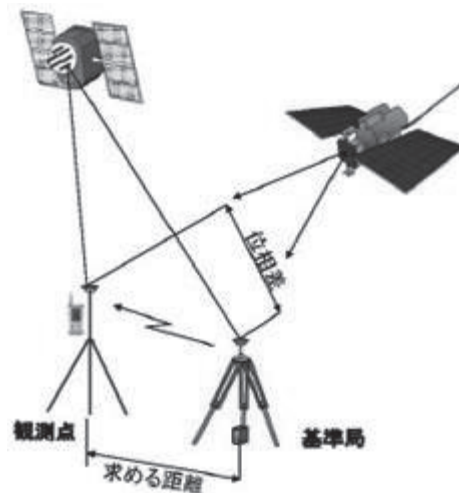
- ・3次元設計データを搭載したトータルステーションなどにより、任意の箇所に置ける標高較差を瞬時に確認します。



出典：株式会社建設システム

② 汎地球測位航法衛星システム(GNSS)

- ・GPSは米軍が開発したものはGPS、ロシアはGLONASS、ヨーロッパはGALILEO、日本の準天頂衛星システムなどがあり、GNSSとはそれらを含む総称である。
- ・原理的には、空間で位置のわかっている3点(測位衛星)から受信機までの各距離がわかれば、位置座標が特定できる。
- ・GNSS測量には、精度や測位方式によって種類がある。情報化施工では、通常RTK-GNSS(リアルタイムキネマティック)が使われる。



出典：国土交通省

(2) ICT施工に使われる技術・機械施工を効率的に行う技術

- ・3次元設計データの設計面通りに施工することができる。
- ・施工する際は、重機の位置、排土板の現況の高さを計測するため、TSもしくはGNSSを設置する必要がある。

① マシンコントロール(MC)

◇トータルステーションやGNSSの計測技術を用いて、施工機械の位置情報・施工情報、及び施工状況と設計値(3次元設計データ)との差異を車載モニターを通じてオペレータに提供し、操作をサポートするマシンガイダンスの技術に施工機械の油圧制御技術を組み合わせ、設計値(3次元設計データ)に従って機械をリアルタイムに自動制御し施工を行う技術

◇適用建設機械

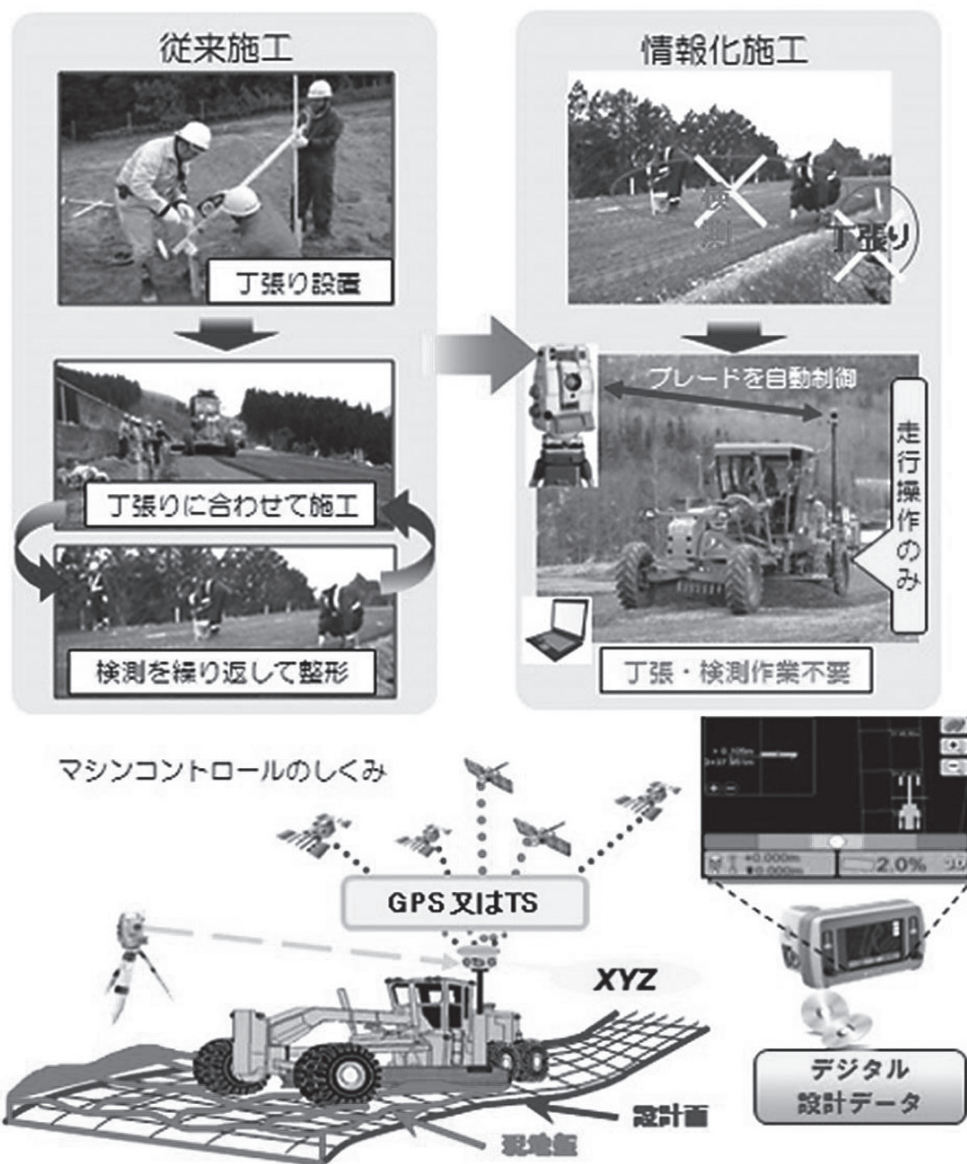
バックホウ、ブルドーザ、モーターグレーダ、アスファルトフィニッシャー等

◇メリット

- ・操作の技術が低いオペレータであっても設計通りの施工が可能である。
- ・丁張がなくても施工ができる。

◇デメリット

- ・オペレータの操作技術がICT建機に頼りきりになると低下する。
- ・導入費用が高額である。



出典：国土交通省

② マシンガイダンス(MG)

◇トータルステーションやGNSSの計測技術を用いて、施工機械の位置情報・施工情報、施工状況と設計値(3次元設計データ)との差異を車載モニターを通じてオペレータに提供し、操作をサポートする技術

◇適用建設機械

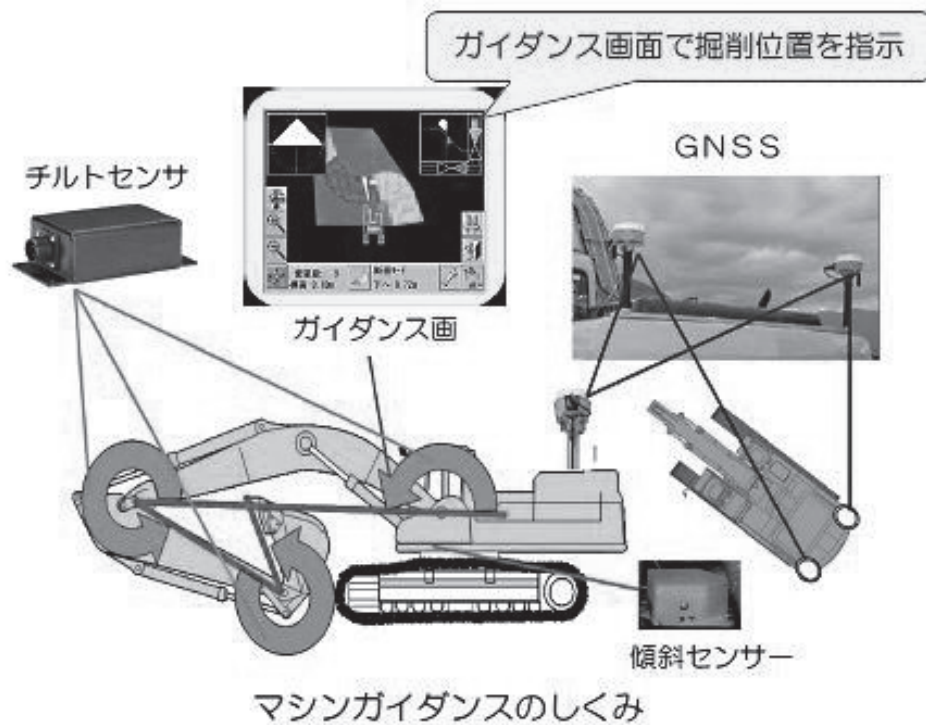
バックホウ、ブルドーザ、転圧ローラ等

◇メリット

- ・オペレータの操作技術が低下しない。
- ・丁張が不要である。
- ・経費は安く抑えられる。

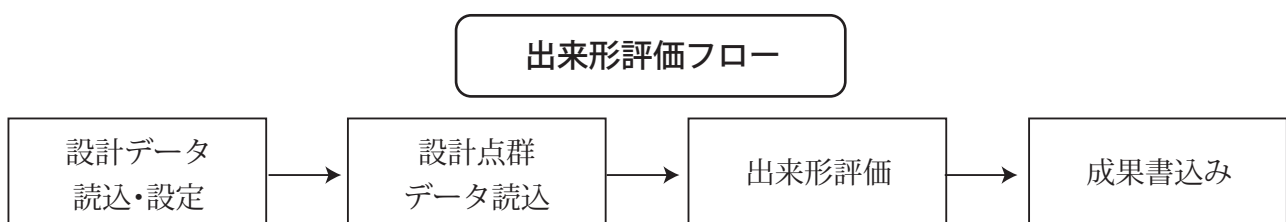
◇デメリット

- ・操作するのは人間であるため、オペレータにより施工仕上がりに差が出る。



出典：国土交通省

4 品質管理、出来形管理



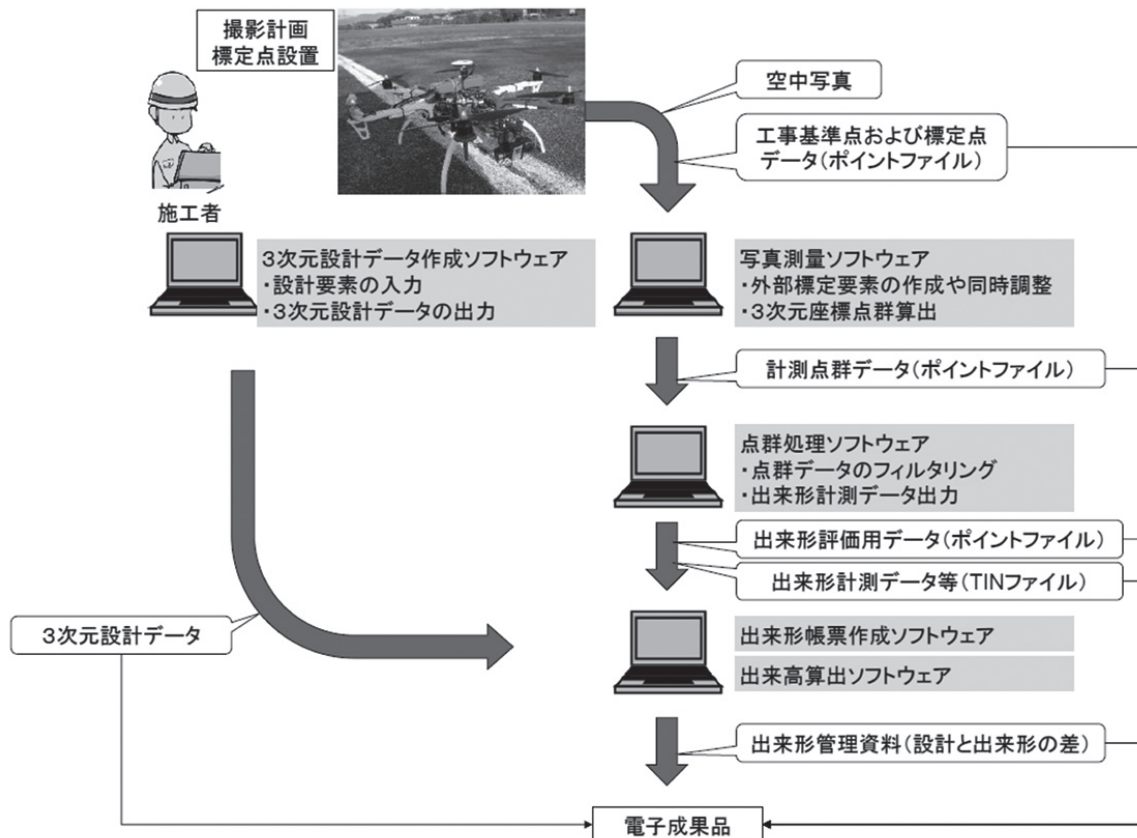


図 1-3 空中写真測量 (UAV) を用いた出来形管理のデータの流れ

出典：空中写真測量 (無人航空機) を用いた出来形管理要領 (土工編) (案)

(1) 出来形帳票の作成概要

① 出来形管理計測データ、設計データを読み込む。

- ・読み込んだ出来形管理計測データ、設計データが表示されるので、それぞれのデータを確認する。
- ・設計面と出来形データの差が表示されるので、出来形の良否を確認する。



② 出来形帳票を確認する。

- ・成果の出力条件(出力対象とする測定項目、測点、表示色など)を設定する。

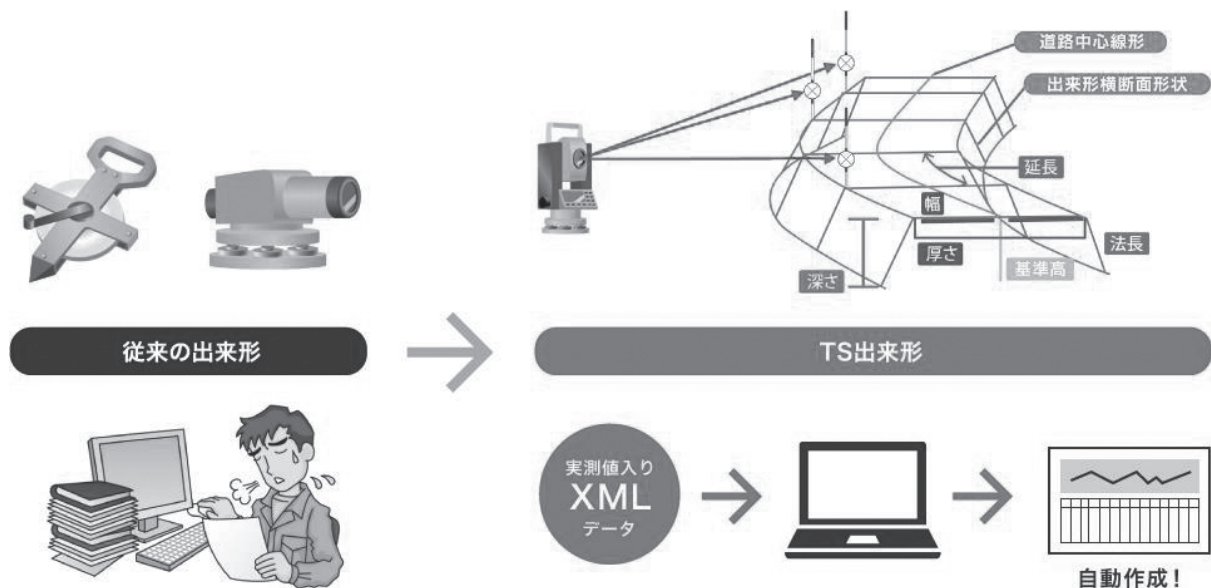
(2) 出来形計測・管理を行う技術

施工された構造物が発注者の意図する規格基準に対して、どの程度の精度で施工されたか、その施工技術の度合を管理する。

次の技術の中から選択して測量を行う。

- ・空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形計測・管理
- ・レーザスキャナを用いた出来形計測・管理
- ・トータルステーションを用いた出来形計測・管理

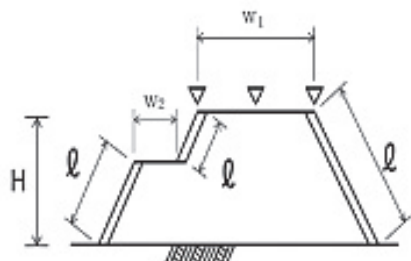
- ・トータルステーション(ノンプリズム方式)を用いた出来形計測・管理
- ・RTK-GNSSを用いた出来形計測・管理
- ・無人航空機搭載型レーザスキャナを用いた出来形計測・管理



出典：株式会社建設システム

従来

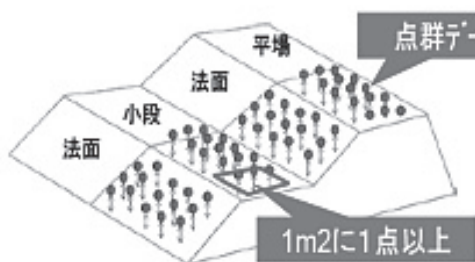
既存の出来形管理基準では、代表管理断面において高さ、幅、長さを測定し評価



<例：道路土工（盛土工）>
 測定基準：測定・評価は施工延長40m毎
 規格値：基準高(H)：±5cm
 法長(l)：-10cm
 幅(w)：-10cm

ICT土工

UAVの写真測量やTLS等で得られる3次元点群データからなる面的な竣工形状で評価



<例：道路土工（盛土工）>
 測定基準：測定密度は1点/m2以上、評価は平均値と全測点
 規格値：設計面との標高較差（設計面との離れ）
 平場 平均値：±5cm 全測点：±15cm
 法面 平均値：±8cm 全測点：±19cm
 ※法面には小段含む

出典：国土交通省

(3) 品質管理を行う技術(T S・G N S Sを用いた締固め回数管理)

- ・ 施工機械の位置を取得し規定施工を把握する。
- ・ 締固め回数を自動記録する。
- ・ 計測結果の整理や帳票作成(走行軌跡図、回数分布図等)は、自動で作成される。



(4) 3次元出来形計測を行う技術

T S等で従来行ってきた出来形管理をU A Vや地上型レーザスキャナ(T L S)で行う。

① 地上型レーザスキャナの特性

- ・ T L Sは、一度に大量の点群データを取得することができる。この点群データは、一点一点が独自の座標値(X、Y、Z)を持っている。
- ・ 同時に写真撮影する事により、その点に色(RGBカラー)及び反射強度の情報も持たせることができる。
- ・ 地上型レーザスキャナの特徴は、比較的精細なデータを得られること。水平360° 鉛直270° の測定範囲の自動フルドームスキャンが可能なものもある。
- ・ 構造物の壁面や内部から見た天井部の3次元データも計測可能である。

② 地上型T L Sでの出来形計測

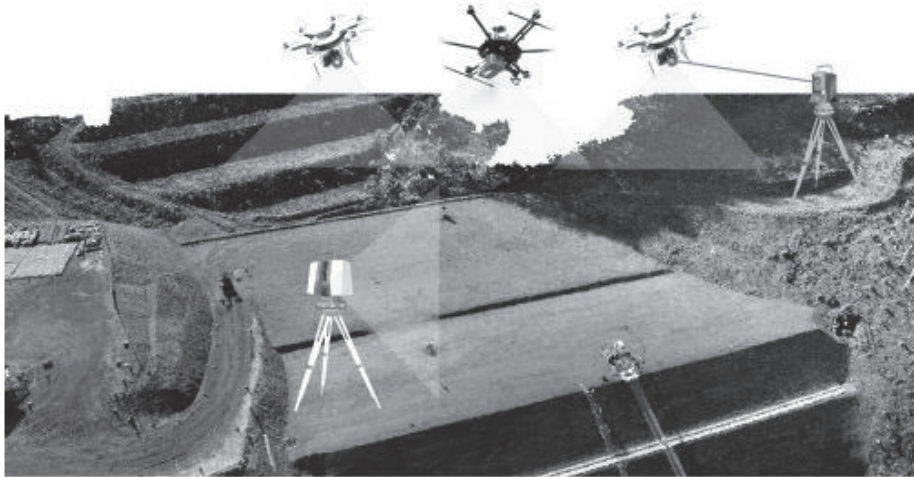
- ・ T L Sによる出来形計測は、被計測対象の地形を短時間かつ高密度に取得した出来形計測点群(3次元座標値)から、3次元C A Dや同様のソフトウェアを用いて、出来形を面的に把握する。
- ・ 出来形数量などを容易に算出することが可能となり、従来の施工管理手間の大幅な削減と、詳細な地形や出来形の形状取得が可能で、従来の巻尺・レベルによる幅・長さの計測や、高さの計測は不要である。
- ・ T L S及び3次元データが扱えるソフトウェア等の利用効果は大きいですが、T L Sは計測対象点を指定した計測ができないことや計測間隔が均一でないといった特徴がある。

③ 空中写真測量(U A V)による出来形計測

- ・ 空中写真測量(U A V)による出来形計測は、被計測対象の地形の空中写真を 撮影し、写真測量用のソフトウェアによる数値化を行い、3次元C A Dや同様のソフトウェアを用いて、出来形を面的に把握する。
- ・ 出来形数量などを容易に算出することが可能となり、従来の施工管理手間の大幅な削減と、詳細な地形や出来形の形状取得が可能で、従来の巻尺・レベルによる幅・長さの計測や、高さの計測は不要である。
- ・ U A V及び3次元データが扱えるソフトウェア等の利用の効果は大きいが、空中写真測量(U A V)は計測対象点を指定した計測ができないことや強風や降雨など天候によっては飛行撮影できないといった特徴がある。

3次元出来形測量の実施

- ・ 地上型レーザースキャナ・無人航空機搭載型レーザースキャナ・空中写真測量(UAV)
- ・ カメラ位置計測を併用する空中写真測量(UAV)により3次元出来形測量を行う。

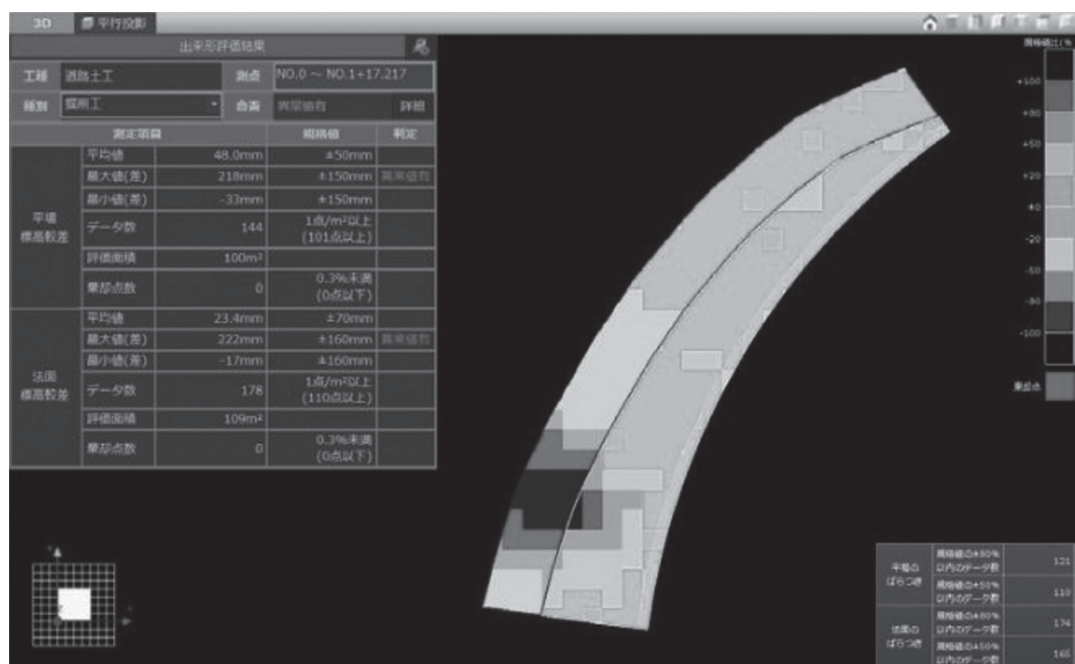


出典：株式会社建設システム

4. 3次元出来形管理技術

ヒートマップによる出来形管理

ヒートマップとは、設計値に比べて施工された盛り土や切り土の高さがプラスマイナスでどれだけ違うのかを、色によってマッピングしたもの。設計値より高い、低いなどの分布がひと目でわかるほか、平均値や最大値、最小値などの数値データも表で示される。



出典：福井コンピュータ株式会社

5 ICT施工の課題

起工測量	- 点群計測のため、除草等により、地面を露出させる必要がある。 - UAV写真測量は強風時に飛行が困難である。 - レーザスキャナは、降雨後の水面反射により計測が困難である。 - 降雪地域では、全面除雪が必要である。
3次元設計	3次元データの作成は、工事契約時に提供された2D設計データだけでは不足するため、変化点すべての横断面の設計データを作ることが必要となる。
施工	GNSSの受信状況により、作業時間や作業範囲が限定され、待ち時間が発生する。
出来形管理 出来形検査	- 計測機器の適性により、測量実施が天候によって困難となる。 - 土質や施工法ごとの数量算出が必要なため、従来手法による計測が必要である場合もある。
電子納品	3次元測量では、従来と比較して大量のデータとなるため、データのやり取りが難しい面がある。

本報告書は、文部科学省の生涯学習振興事業委託費による委託事業として、《学校法人誠和学院 専門学校日本工科大学校》が実施した 2019年度「専修学校による地域産業中核的人材養成事業」の成果をとりまとめたものです。

2019年度 文部科学省委託事業「専修学校による地域産業中核的人材養成事業」
～Society5.0等対応カリキュラムの開発・実証～

Society5.0社会を支えるエンジニア育成事業 建設エンジニア:「ICT・UAV探究」テキスト

2020年 2月発行

発行所・連絡先

学校法人誠和学院 専門学校日本工科大学校
〒672-8001 兵庫県姫路市兼田383-22
TEL 079-246-5888 FAX 079-246-5889
<http://www.seigaku.ac.jp/>

本書の内容を無断で転記、転載することを禁じます。