

文部科学省委託事業
Society5.0社会を支える
エンジニア育成教育プログラム開発事業

「ICT・UAV探究」テキスト

はじめに

近年、インターネットやスマートフォンの普及が急速に進むとともに、IoT、ビッグデータ、人工知能、ロボットといった新技術の進展により、デジタル革新が急速に進み社会の前提が大きく変わろうとしています。

それは、①小型化・高性能化した計測機器が精密かつ膨大なデータを収集、②サイバー空間上でこの膨大な情報(ビッグデータ)を人工知能が解析、③識別、予測、実行するなど判断の高度化・最適化を図り、自動制御のためのルールを推測するなどにより、人間に様々な形のサービスを提供し、フィードバックするというサイバー・フィジカルシステムによる高度な社会、データ駆動型超スマート社会「Society5.0」の到来です。

しかし、これらのデータ駆動型超スマート社会を維持・発展させるには、人工知能やデータ分析に一定の知識を持った人材の育成が不可欠です。既に小・中・高等学校では、プログラミング教育やデータ活用領域の充実を図り、人工知能技術を支える理数・データサイエンスの基礎と、人工知能がデータから知識を獲得するアルゴリズムを理解する素地を育成する取組が始められています。

専修学校においても、これらのイノベーションに柔軟に対応すべく従来の専門分野の知識・技術に加え、データ駆動型超スマート社会に順応する新しい技術を使いこなせる人材を育成する教育を確立していかなければなりません。

特に、建設分野では、急速にイノベーションが進められており、3次元施工の知識を持ち、トータルでICTを使いこなし、工事をマネジメントできる技術者・技能労働者の必要性が指摘されています。

そこで、当校では、文部科学省の委託を受け、企業や業界、行政、専門学校の協力を得て、Society5.0社会を支える建設エンジニア養成のための実践的教育カリキュラム(テキスト)をここにまとめました。

建設系(土木)の専修学校様におかれましては、本書を活用いただき、i-Constructionの目的やICT施工の概要について学ぶ際に、テキストとしてご活用いただけると幸いです。

令和3年2月

学校法人誠和学院
日本工科大学校

目 次

第I章 i-Constructionの推進

1. 我が国の現状	2
2. 今後の方向性	4
3. i-Constructionの推進	8

第II章 3次元起工測量・出来形測量

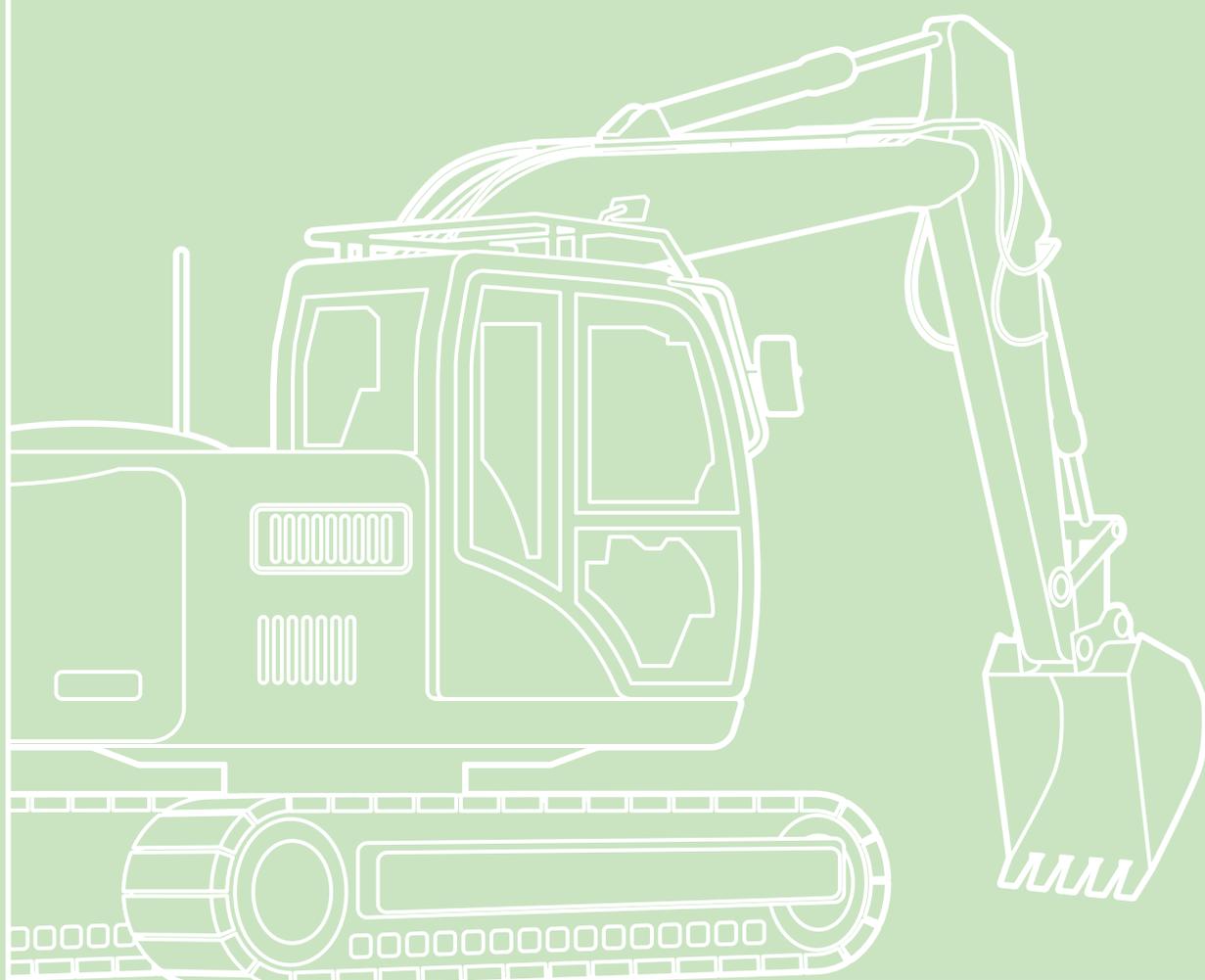
1. ICT活用工事	20
2. 3次元起工測量	21
3. UAV写真測量	29
4. 写真測量の原理	33
5. UAV無人飛行機の飛行規定概要	34
6. レーザ測量	39
7. GNSS測量	48

第III章 ICT施工・施工管理

1. ICT施工の概要	52
2. ICT施工の流れ	53
3. 3次元設計データの作成	54
4. ICT建設機械による施工	57
5. 3次元出来形管理、品質管理	62
6. 3次元データの納品	69

第 I 章

i-Constructionの推進



1. 我が国の現状

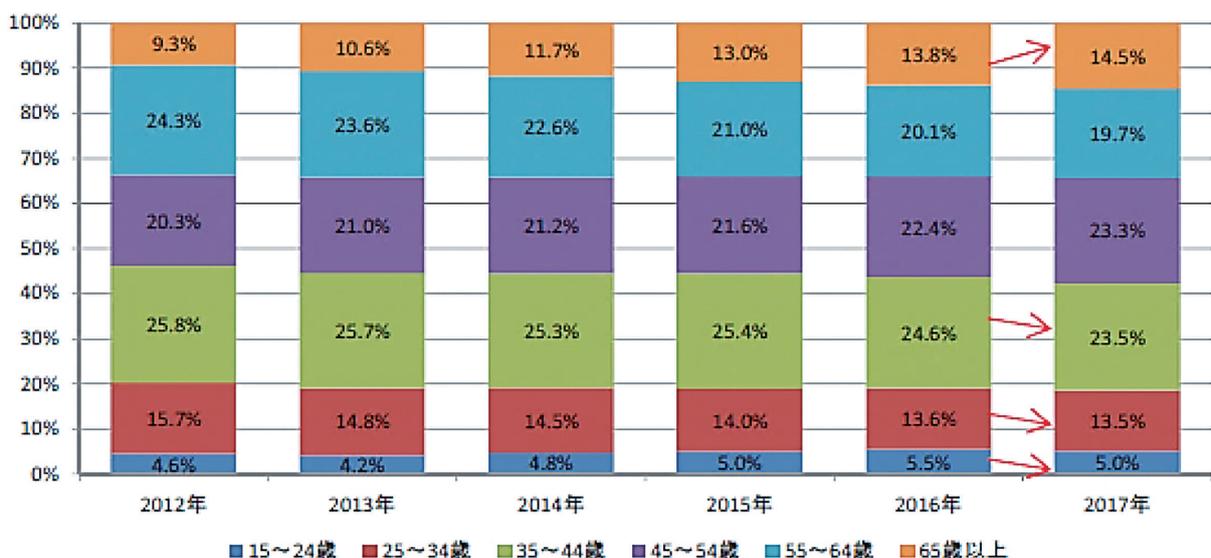
(1) 労働力が不足する時代

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、これらの人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^{*1}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 ※1:「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1992年度の約84兆円をピークに減少し、2010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、2015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、1955年頃の東海道新幹線工事と近年の新幹線工事を比較すると、10倍に向上している。

一方、土工やコンクリート工などは、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^{*2}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。

生産性の変化					
	1955年頃	1984年度	2010年度	2012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	横ばい改善なし
コンクリート工	-	12人日 100㎡あたり	-	11人日 100㎡あたり	横ばい改善なし

◇言葉の窓 ※2:「ICT技術とは」

ICT技術(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である。

よく知られる言葉に「IT(情報技術)」があるが、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。

2. 今後の方向性

(1) 建設現場の現状

建設産業においては、「一品受注生産^{※3}」、「現地屋外生産^{※4}」、「労働集約型生産^{※5}」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^{※6}」、「セル生産方式^{※7}」及び「自動化・ロボット化^{※8}」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工等の建設現場

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 ※3:「一品受注生産」

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。

◇言葉の窓 ※4:「現地野外生産」

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。

◇言葉の窓 ※5:「労働集約型生産」

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 ※6:「ライン生産方式」

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。

◇言葉の窓 ※7:「セル生産方式」

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。

◇言葉の窓 ※8:「自動化・ロボット化」

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^{※9}、AI(人工知能)^{※10}、ビッグデータ^{※11}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、インダストリー4.0^{※12}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 ※9:「IoT」

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。

◇言葉の窓 ※10:「AI(人工知能)」

人間の脳が行っている知的な作業をコンピュータが模倣したソフトウェアやシステムのこと。

◇言葉の窓 ※11:「ビッグデータ」

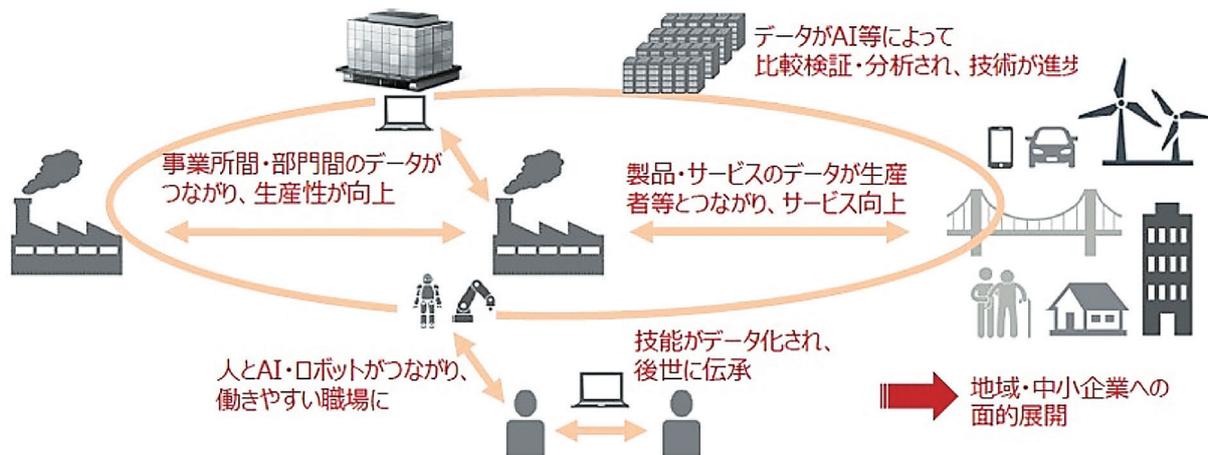
これまでのシステムでは管理や分析が不可能だった巨大なデータ群のこと。加えて、速度や多様性、変動性、複雑性を持ったデータのこと。

◇言葉の窓 ※12:「インダストリー4.0」

インダストリー4.0とは、ドイツ政府の国家プロジェクトのことで、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を活用し、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。

インダストリー4.0の考え方



出典: 経済産業省

(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、製作という流れになり、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^{※13}、フロントローディング^{※14}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、設計段階に施工管理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^{※15}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※13:「コンカレントエンジニアリング」

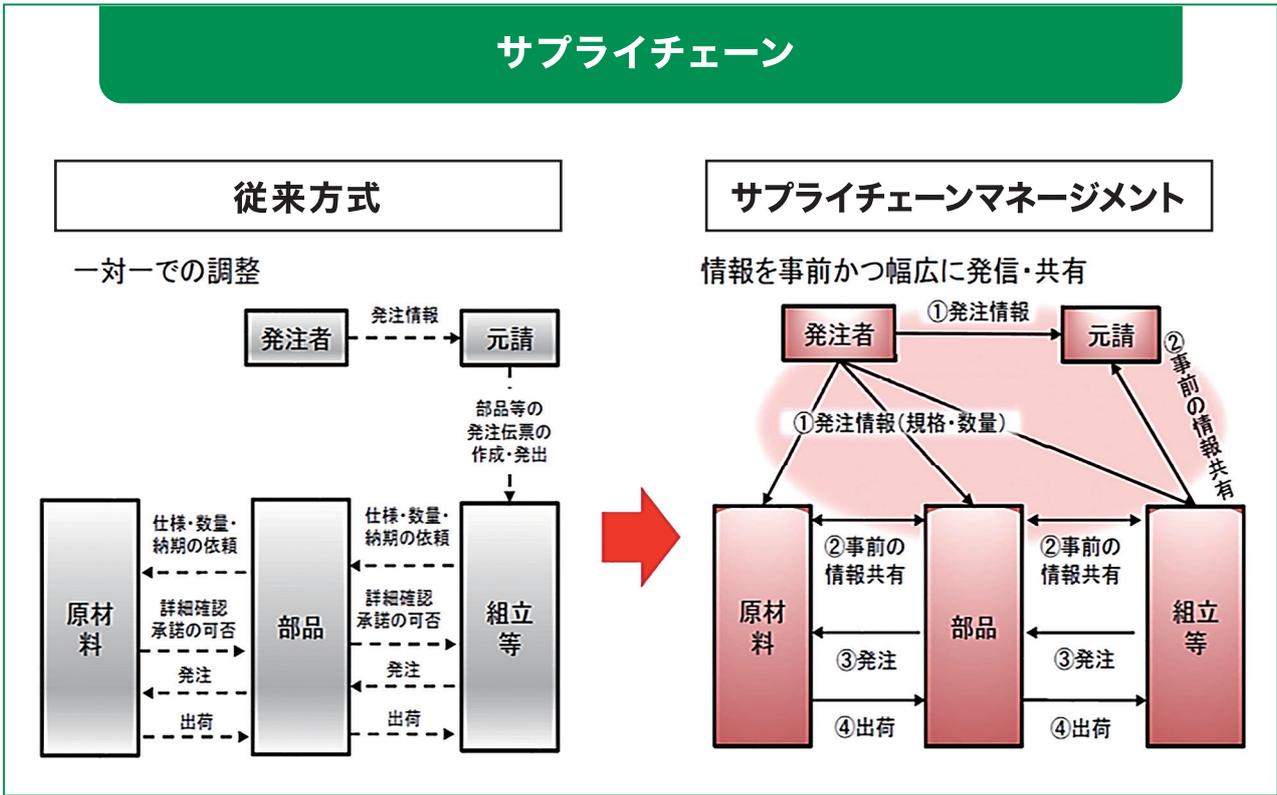
コンカレントエンジニアリングとは、設計から製造に至る様々な業務を同時並行的に処理することで、量産までの開発プロセスをできるだけ短期化する開発手法。
 例えば、「概念設計」「意匠設計」「詳細設計」とそれに伴う「解析」「製図」「生産」の各開発過程を同時並行して行う手法で、これまで順番に行ってきた開発過程を同時並行することで、開発期間の短縮と多品種少量生産を実現しようというもの。

◇言葉の窓※14:「フロントローディング」

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※15:「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。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。



出典: 国土交通省

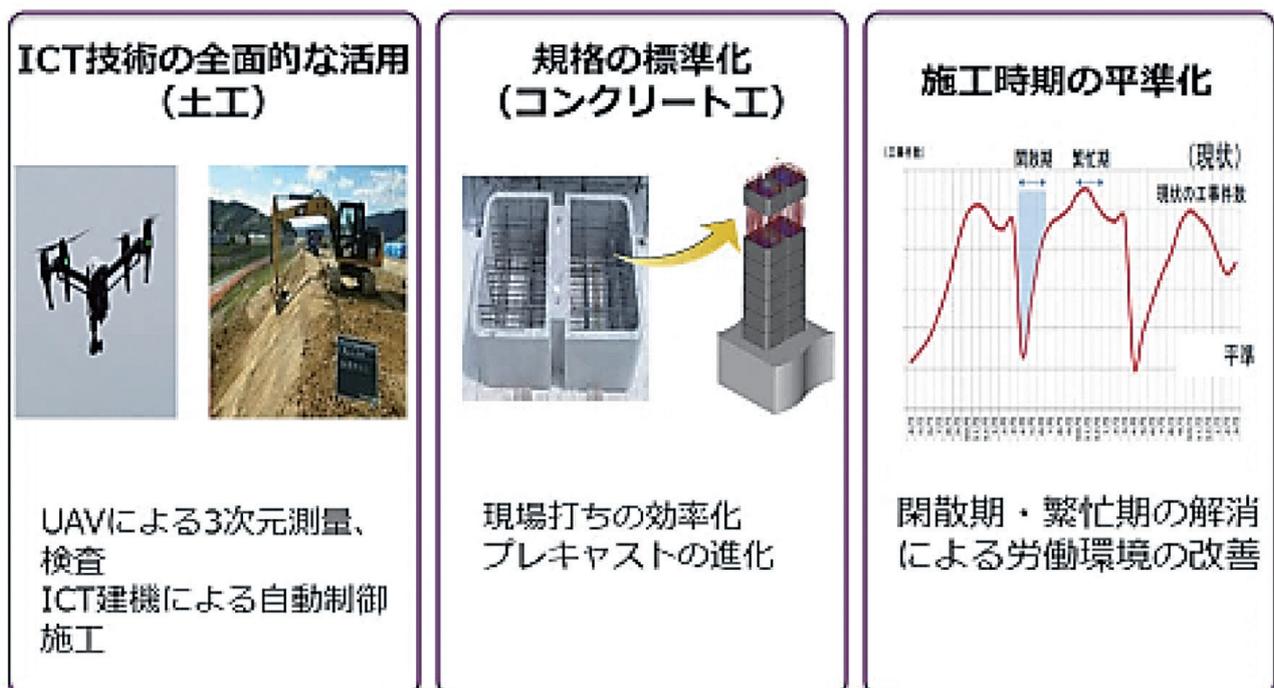
3. i-Constructionの推進

(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組である。



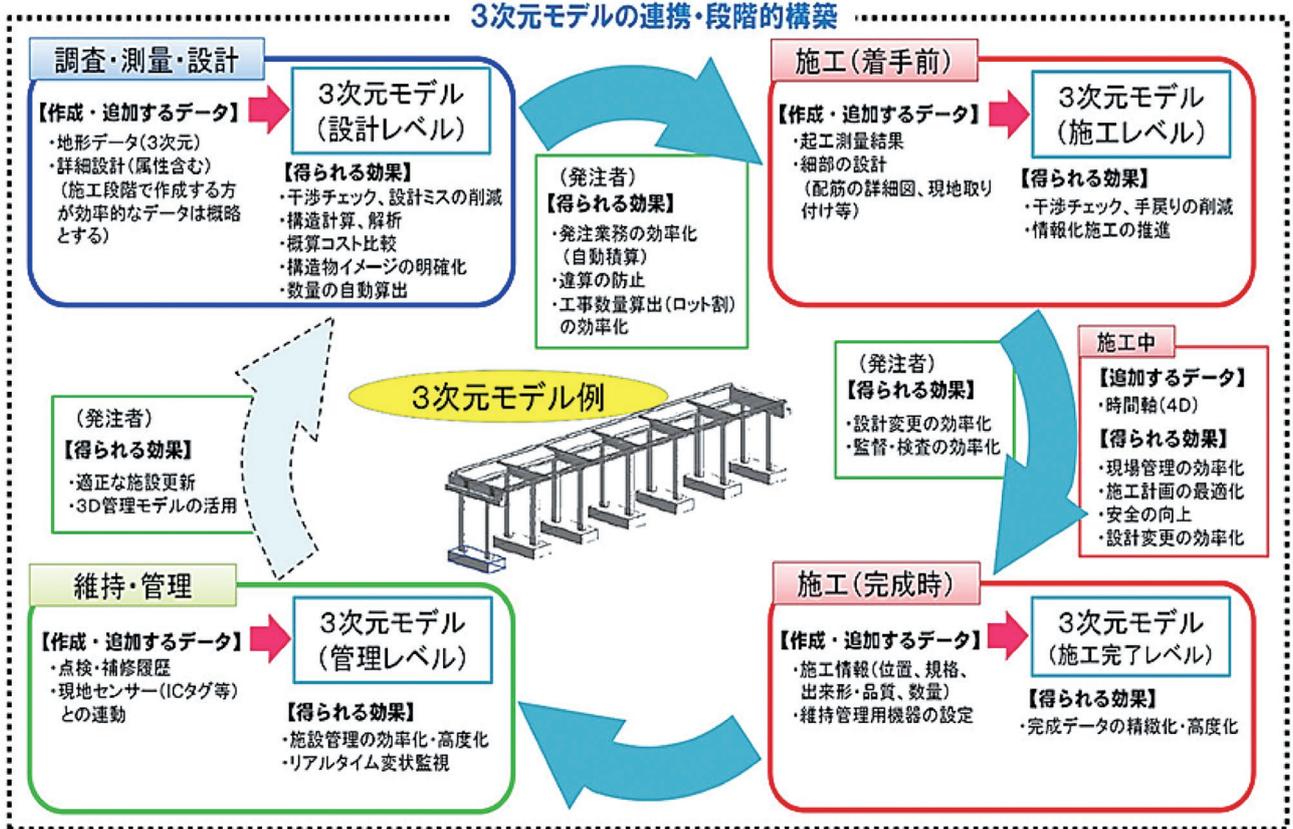
i-Constructionは、ICTの全面的な活用(BIM/CIMの推進^{*16})、全体最適の導入(コンクリート工の規格の標準化等)、施工時期の平準化の3つの取組からなっている。



出典:国土交通省

◇言葉の窓 ※16:「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。



出典：国土交通省

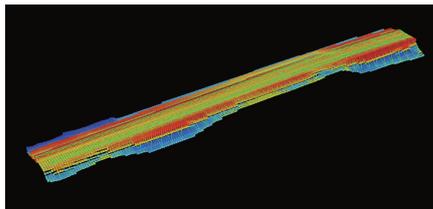
① ICTの全面的な活用（ICT土工）

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で、次のプロセスからなる。

① 起工測量



② 設計・施工計画



③ 施工



④ 検査



出典: 福井コンピュータ株式会社

ICTの全面的な活用による施工プロセス

① 3次元起工測量

UAV写真測量等やレーザスキャナなどにより、3次元測量データを取得するために測量を行う。

② 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。

③ 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。

④ 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。

⑤ 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。

このため産官学が共同し、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)

土木構造物の代表的な工種であるコンクリート工において全体最適の考え方を導入し、構造物の設計、発注、材料の調達、加工、組立等の一連の生産工程や、さらには、維持管理を含めたプロセス全体の最適化を目指し、サプライチェーンの効率化、生産性の向上を図る。

また、部材の規格(サイズ)の標準化を行うことにより、プレキャスト製品^{※17}やユニット鉄筋などの工場製作化を進め資機材の転用等によるコスト削減、生産性の向上が見込まれる。

コンクリート工の現状

ア) 現地屋外生産

- 現場打ちコンクリートは気温が4℃から25℃で打設することが標準とされ、夏季、冬季における作業に制限がかかるなど、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。
- 橋梁等の構造物によっては、高所作業が必要となり、危険が伴う労働環境での作業となる。

イ) 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、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。また、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・・・

ア) 建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する仕組を整備する。

イ) 部材規格の標準化

- 橋脚、桁、ボックスカルバート^{※18}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。

ウ) 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。

エ) 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^{※19}、機械式定着工法^{※20})
- 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^{※21}、連続打設工法^{※22})

オ) 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。
- 工場製品等における品質検査項目を合理化する。

カ) 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 ※17:「プレキャスト製品」

工場であらかじめ製造した側溝、管、マンホール、くい、橋げたや建物の一部などのコンクリート製品。工事現場に運搬し、建設現場での据付けと組立て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。

◇言葉の窓 ※18:「ボックスカルバート」

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。

◇言葉の窓 ※19:「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。

◇言葉の窓 ※20:「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。

◇言葉の窓 ※21:「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。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。

◇言葉の窓 ※22:「連続打設工法」

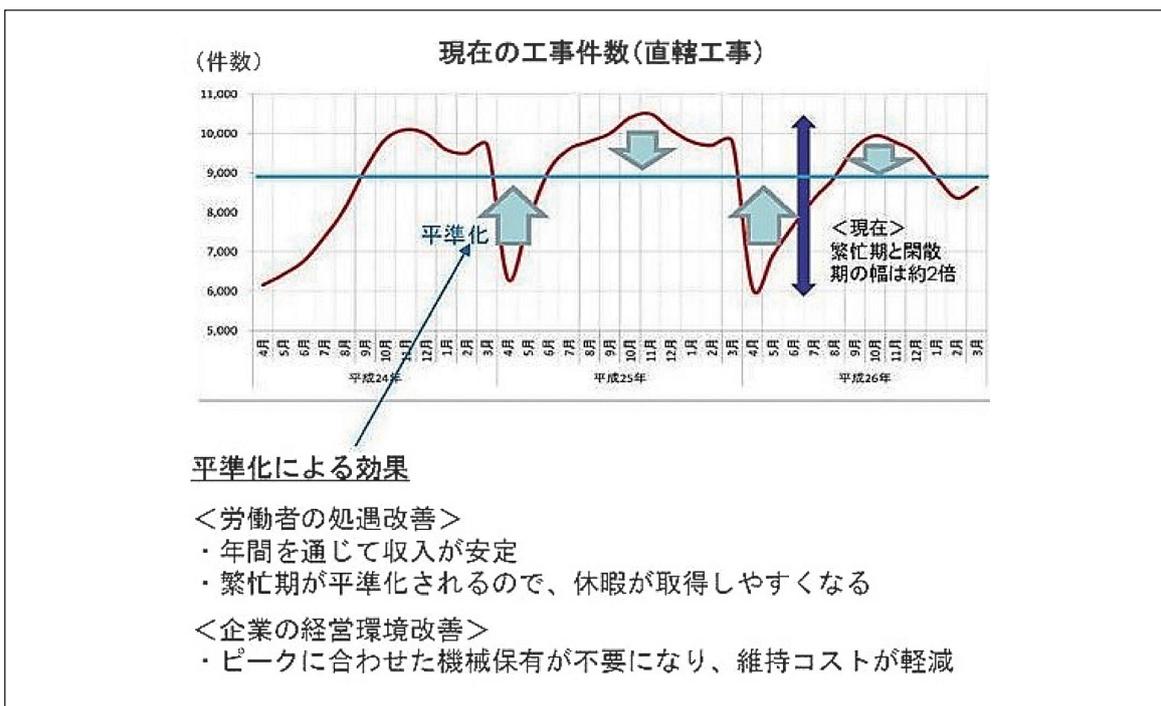
コンクリートの型枠をジャッキで押し上げ、滑らせて上昇させながら、連続的にコンクリートを打設し躯体を構築していく工法で、煙突やタワー、石炭サイロなどのRC塔状構造物の施工に適用している。

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为避免、債務負担行為^{※23}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。



出典：国土交通省

◇言葉の窓 ※23:「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、現場で働く人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人々の処遇がどのように変わっていくのかを明らかにし、それを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

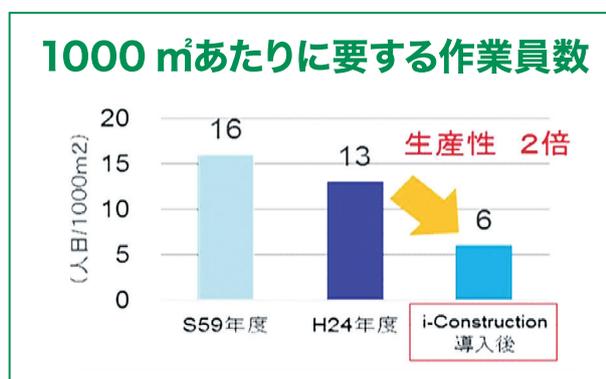
ICT技術の全面的な導入により、仕事の仕方が大きく変わる。例えば、全てのプロセスに3次元データを一貫して使う現場においては、ドローン等で3次元の測量データを入手し、3次元の設計データとの差分を瞬時に計算して、最適な施工計画を立案し、3次元の設計データ通りに建設機械の作業が進むことが期待されている。

監督や検査においても、GNSS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。

また、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ICT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。



出典:国土交通省

② より創造的な業務への転換

ICT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。

IoTの進展は、大量生産からカスタマイズ生産^{※24}へのシフトをもたらすと言われている。

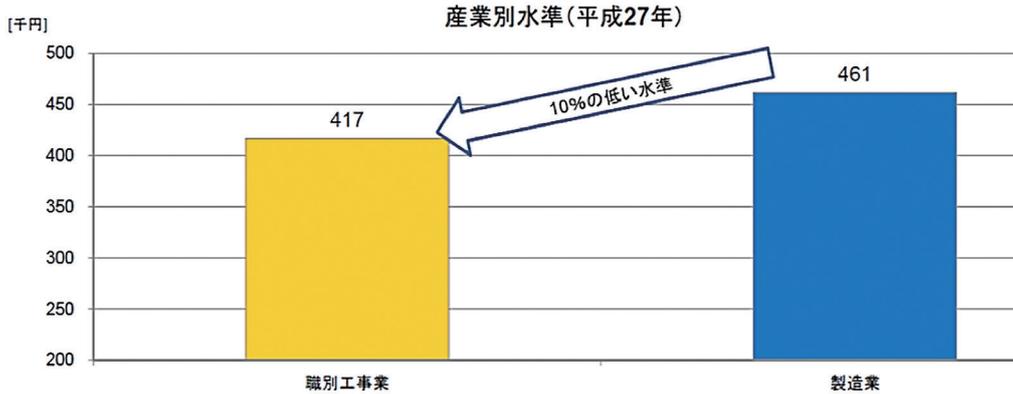
今後は、国民のニーズ、現場のニーズも多様化する。例えば、インフラの維持管理であれば、単純な補修から大規模更新など多種多様な対応が求められる。機械に任せることができない創造的な業務を人が行うというやりがいのある建設現場へ変えていくことが期待される。

◇言葉の窓 ※24:「カスタマイズ生産」

少品種多量生産により生産コストを下げるのが、「マスプロダクション(大量生産)」、顧客の要望に応じて仕様変更を行うのが「カスタマイゼーション(受注生産)」である。

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、現場で働く人々の賃金水準の向上が期待される。



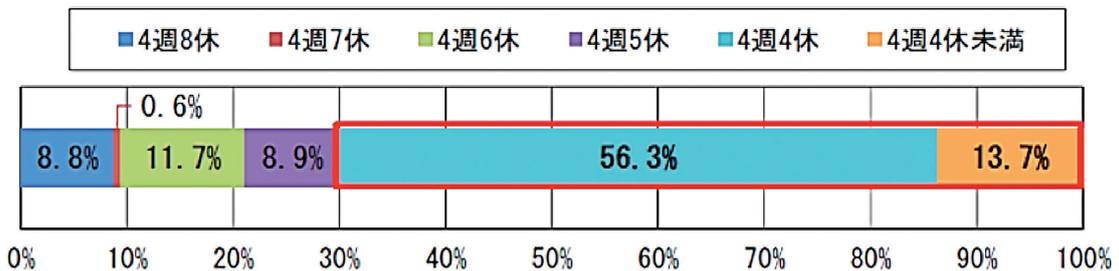
出典:国土交通省

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、ICT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職場環境づくりが期待される。

建設業の休日について



※ 日建協「時短アンケートの概要」から抜粋

出典:国土交通省

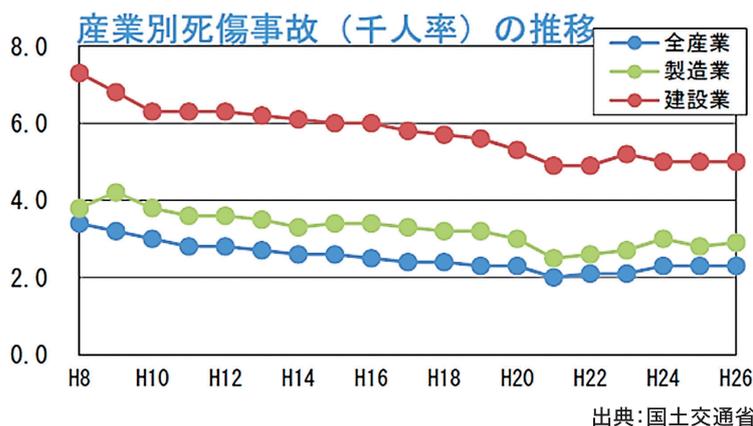
■資料「若者が建設業に就職・定着しない主な理由」(建専連アンケート調査)

- ・ 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、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※25等が軽減され、安全性向上につながることが期待される。

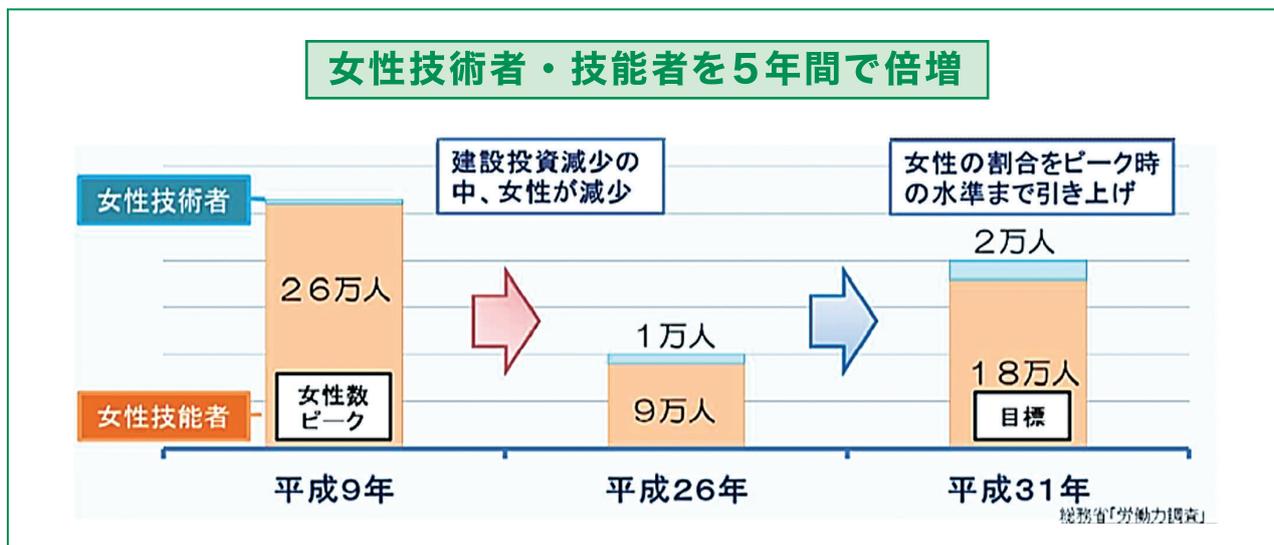


◇言葉の窓 ※25:「輻輳(ふくそう)」

方々からいろいろな物が一か所に集まること。混み合うこと。

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。



出典：国土交通省

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

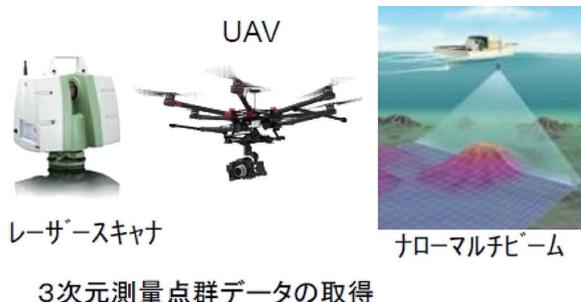
3次元起工測量・出来形測量

1. ICT活用工事

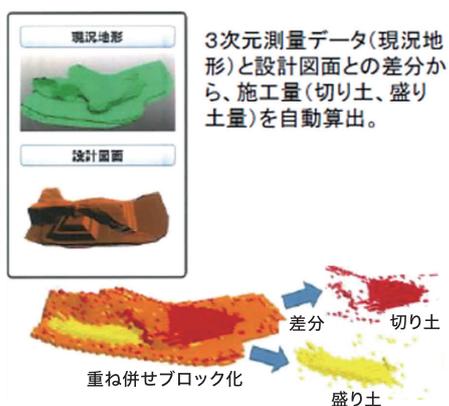
(1) ICT活用工事とは

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。(p10参照)

① 3次元起工測量



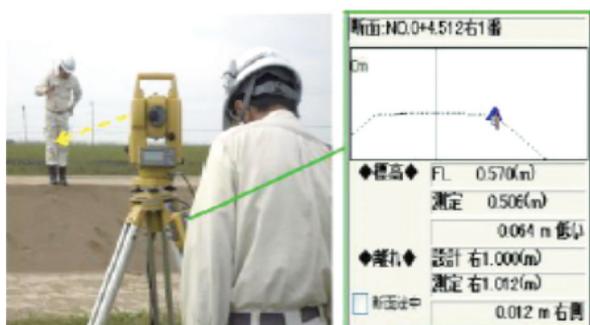
② 3次元設計データ作成



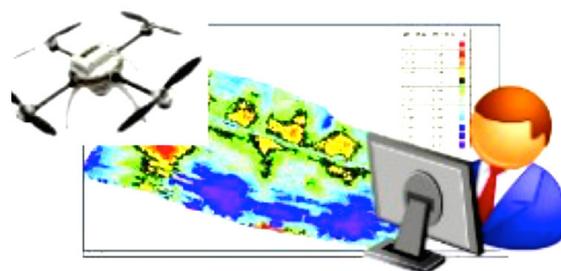
③ ICT建設機械による施工



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

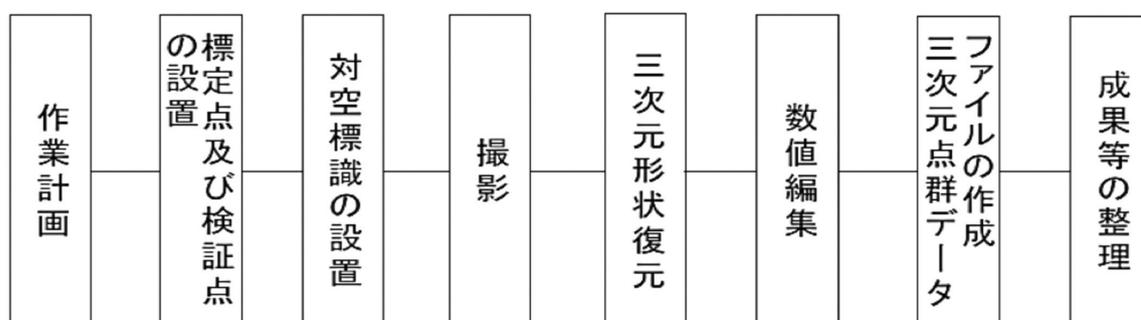
起工測量とは、工事の着手前に行う、着手前の現場形状を把握するための測量である。

UAVによる写真測量等により、短時間で面的(高密度)な3次元測量を実施し、3次元測量データ(現況地形)と設計図面との差分から、施工量(切土、盛土量)を自動算出する。



出典:国土交通省

(1) 3次元起工測量の流れ(UAV写真測量の場合)



出典:福井コンピュータ株式会社

① 作業計画

- UAV写真測量^{※26}にあたり、平面図と現地踏査を基に、撮影箇所周辺の建造物・交通状況・電線・高圧線の設置箇所・施工範囲・撮影範囲の確認と作業計画を作成する。
- UAV^{※27}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ということが多い。予備日を設けておくことが必要である。
- 航空法^{※28}に基づき、許可・承認等を事前に取得しておく。

◇言葉の窓 ※26:「UAV写真測量」

UAV写真測量とは、連続した航空写真を撮影し、3D形状復元ソフトで写真から3Dデータを作成する方法。現場での作業は標点設置と空撮だけのため、現場作業時間が短いことが特徴である。

◇言葉の窓 ※27:「UAV」

UAVとは、人が搭乗しない無人航空機 ことで、Unmanned Aerial Vehicle の頭文字からUAVと呼ばれている。代表的なUAVがドローンである。

◇言葉の窓 ※28:「航空法」

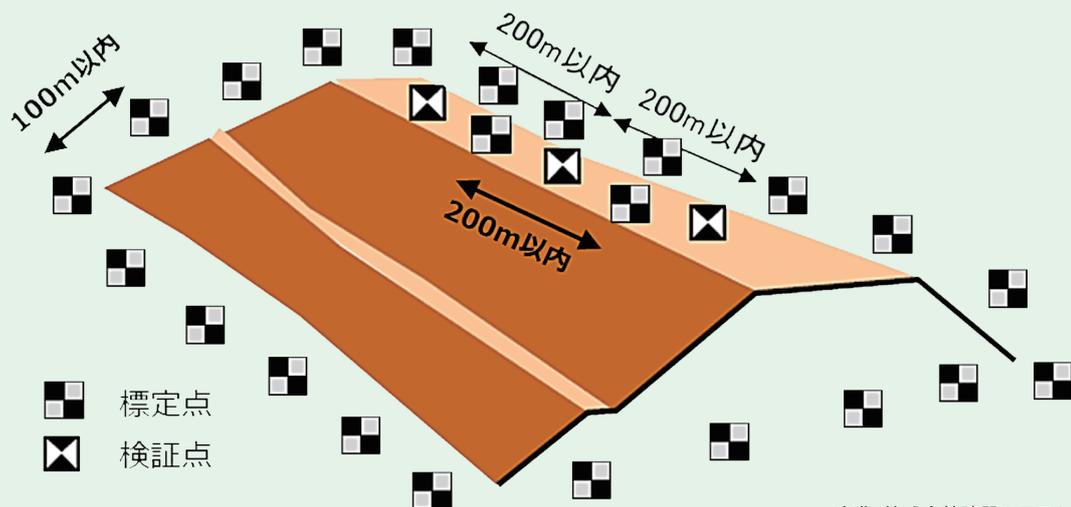
民間の航空機の航行の安全及び障害の防止などを目的とした日本の法律である。航空法は2015年12月に改正され、200g以上の飛行重量のある無人航空機は航空法の対象となる。

② 標定点及び検証点の設置・対空標識の設置

- 標定点・検証点※29を施工範囲を取り囲むように配置し、標定点・検証点が中央部にくるように対空標識※30を設置する。
- 設置には、トータルステーション(TS)やGNSSを用いる。(p28参照)
- 標定点配置計画を基にUAVの飛行経路を計画し、入力する。

◇言葉の窓 ※29:「標定点・検証点」

- 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。
- 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。
- 検証点は、精度を検証するための点で、天端上に200m以内の間隔となるように設置する。最低2箇所設置し、要求精度により点数が規定されている。



出典:株式会社建設システム

◇言葉の窓 ※30:「対空標識」

- UAVで撮影した写真から、標定点・検証点を容易に確認するため対空標識を設置する。
- 対空標識は、中央部に標定点・検証点をとり、辺長15ピクセル以上で写る大きさが標準と規定されており、30cm四方ぐらいの大きさが必要となる。
- 「UAV公共測量マニュアル(案)」に掲載されている対空標識



★型



X型



十型



O型

出典:国土交通省

③ 撮影(UAVによる写真撮影)

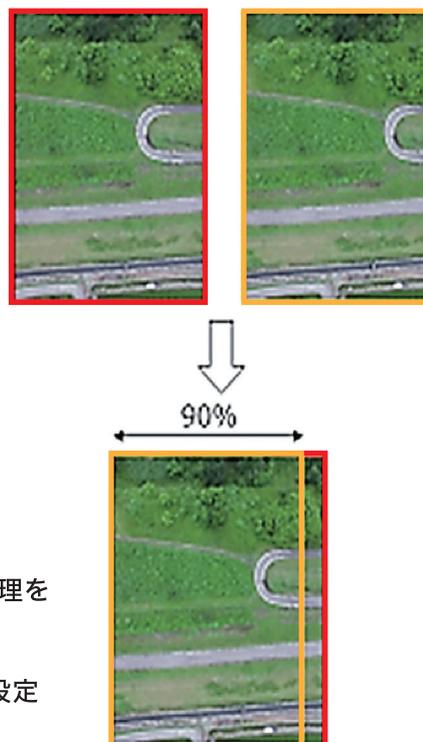
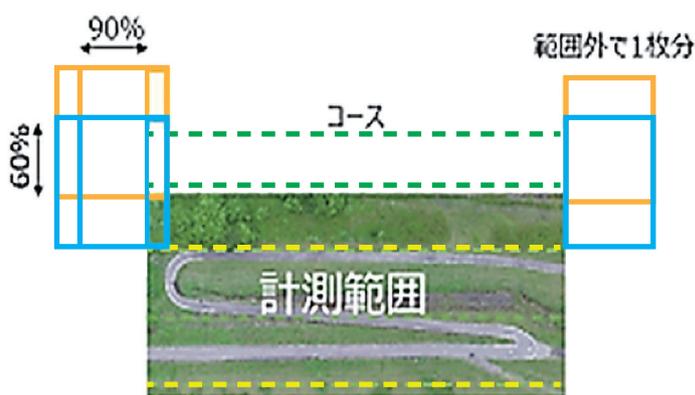
- 標定点・検証点が設置できたらUAVを飛行させて空中写真を撮影する。
- 写真は前後左右の写真と重なる(ラップする)ように撮影する必要がある。飛行アプリによってはラップ率を自動計算して飛行するものもあるが、そうでない場合にはUAVの飛行高度とカメラ解像度、飛行速度等からシャッタ間隔を計算して飛行させる必要がある。
- 基準では縦方向のラップ率^{※31}が90%以上、横方向のラップ率が60%以上となるよう飛行計画を立てる。なお、ラップを解析するソフト使用が証明できれば、縦を80%とすることができる。

◇言葉の窓^{※31}:「ラップ率」

UAVを用いた空中測量の場合、UAVの高度や傾きで、大きな誤差が生じる。時刻や気温や風の影響もまぬがれない。このため、縦、横、二重になるところを設けて写していく。縦をオーバーラップ、横をサイドラップと呼ぶ。

航空写真の重複度

- 重複度は整合処理の確実さに影響する。
- 同一コース内の隣接写真で90%(オーバーラップ)
- 隣接コースの空中写真間で60%(サイドラップ)
- 計測対象範囲外で1枚以上撮影



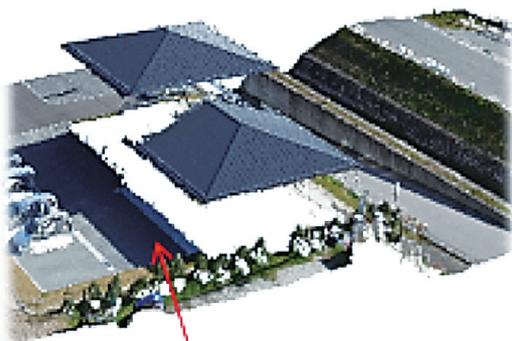
- 点群化を行う際に重複点を用いて高さデータを得る演算処理を行うため、重複の生じない箇所がないようコースを設定
- 写真枚数が多くならずコース数が少なくなるようにコースを設定
- 撮影飛行は自立飛行が原則

出典:福井コンピュータ株式会社

- 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。
- UAV写真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3次元モデル化の際に不具合が出てしまう場合がある。
- 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。
- 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

■資料:「点群処理の概要」

- ① UAVを飛ばす前にマーク点を決め、位置を測量機GNSS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。

•数値編集の段階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(高密度点群)の作成を行う。こうすることで密度の高い、3次元モデルのような点群が完成する。

•具体的には点群モデルは隙間があるため、点と点を結んで「面」にするメッシュ^{※40}構築という処理を行う。

3次元点群データを作成する場合の点密度^{※41}の標準は、次の表の通り。

地図情報レベル ^{※42}	点密度の標準	低密度の許容点密度	高密度の許容点密度
250	0.5mメッシュに 1点以上	10mメッシュに 1点以上	0.1mメッシュに 1点以上

- 土木施工での法肩・法尻等の地形形状が急激に変化する箇所は、原則として点密度を高密度とする。
- 植生等により測定した点が正しく地表を捉えられず、標準の点密度の取得が困難な場合は、原則として点密度を低密度とする。

◇言葉の窓 ※35:「オリジナルデータ」

オリジナルデータとは、建物や樹木を含んだ地球表面の高さのデータ。

◇言葉の窓 ※36:「点群」

点群とは、X、Y、Zの基本的な位置情報や色などの情報を持つ3次元データ。

◇言葉の窓 ※37:「グラウンドデータ」

グラウンドデータとは、オリジナルデータから建物や樹木等の高さを取り除いた地盤の高さのデータ。

◇言葉の窓 ※38:「TINデータ」

TINとは地表面を三角形の集合で表現するデジタルデータ構造で、三角形の各頂点がX、Y、Zの3次元情報を持ち、この三角形を多数組み合わせることで3次元的な形状を視覚化することができる。

◇言葉の窓 ※39:「グリッド(DEM)データ」

グリッドデータとは、数値地図の一種であり、ある地域を格子(メッシュ)状に区画し、その中心点の高度(標高)データを記述したもの。

◇言葉の窓 ※40:「メッシュ」(不規則三角形網)

メッシュは、点群データから作る3Dモデルで、三角形あるいは四角形以上の多角形の集合体で表現する方式。メッシュは滑らかな形状が表現されているが、それを構成するのは三角形の集合体である。点群データを構成する「点」をメッシュの頂点とし、頂点を結んで三角形となる。従って、点群データの密度が高いほど、データの容量は大きくなる。

◇言葉の窓 ※41:「点密度」 1mあたりの計測点数

◇言葉の窓 ※42:「地図情報レベル」

デジタル化された地図でその位置や高さの精度を示すために使われる言葉で、アナログ地図の縮尺の概念と同じである。例えば地図情報レベル2500とは、アナログ地図で1/2500の縮尺の地図の位置と高さの精度があることを示している

- 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。
- 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。そして、このようにして作成された3次元点群データファイルを電磁的記録媒体に記録する。

⑥ 成果等の整理

- 公共測量作業規程の準則※43に従い、メタデータ※44を作成する。
- 3次元点群測量を公共測量としない場合は、メタデータを作成する必要はない。

◇言葉の窓 ※43:「公共測量作業規程の準則」

国土交通省が公共測量における標準的な作業方法を定め、その規格を統一するとともに、必要な精度を確保すること等を目的として定めた規程。

◇言葉の窓 ※44:「メタデータ」

メタデータ (metadata) とは、本体のデータに関する付帯情報が記載されたデータのこと。主となるデータの説明書、付帯情報が書いてあるデータのことである。

例えば、文書データであればタイトルや著者名、作成日などが、楽曲を収めた音声データであれば、曲名や収録媒体、作曲家、作詞家、実演家などが付帯しているもの。

(2) 3次元起工測量の技術

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。

① 無人航空機(UAV)を用いた起工測量

無人航空機(UAV)は、人が搭乗することなく飛行できる航空機であり、自律制御あるいは、地上からの遠隔操作によって飛行することができる。無人航空機にデジタルカメラを搭載することで、空中写真測量に必要な写真を空中から撮影することができる。

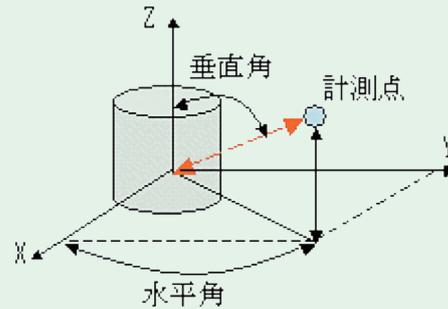
② レーザスキャナ(LS)を用いた起工測量

スキャナから照射されたレーザ※45によって、対象物の空間位置情報を取得する計測。「単点」の測量ではなく、ごく短時間に大量かつ「面的な」3次元空間の点群座標を取得する計測技術。

レーザスキャナには、地上型レーザスキャナ(TLS)、無人航空機搭載型レーザスキャナ(UAVLS)、モバイルマッピングシステム(MMS)がある。(後述)

◇言葉の窓 ※45:「レーザ」の計測原理

対象物に向かって照射したレーザ光が反射して戻ってくるまでの時間により、距離を計測し、水平角と垂直角を計測する。



③トータルステーション(TS)を用いた起工測量

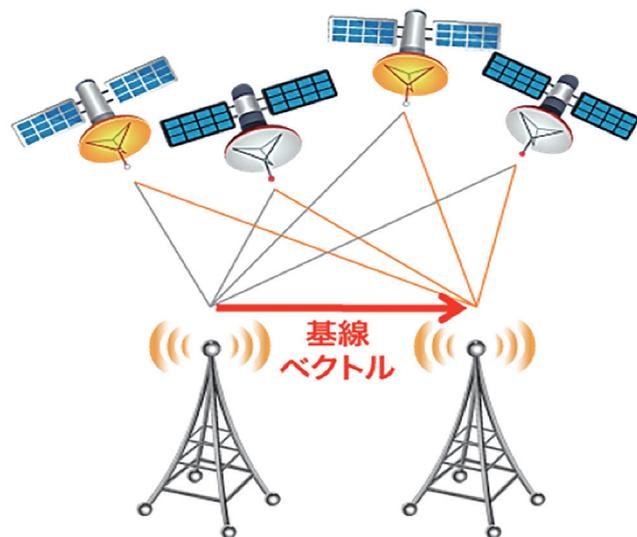
トータルステーションは、デジタルセオドライト(電子的角度測定機器に光波測距儀と小型コンピュータを内蔵し、1台の機械で角度(鉛直角・水平角)と距離を同時に測定することができる。

目標点に光を発射して、反射して機械に戻った光を電子的に解析して、計測した角度と距離から未知点の座標計算を瞬時に行うことができ、計測データの記録及び外部機器への出力ができる。標定点、検証点の座標取得、及び実地検査に利用される。

測定対象物に光波を照射して、反射してきた光波を電子的に解析して距離を測る反射プリズムを必要としないノンプリズム方式がある。

④GNSSを用いた起工測量(GNSS測量)

既知点(固定点)と未知点(観測点)にGNSS^{※46}アンテナを設置し、衛星電波到達のズレを用いて両点の基線ベクトルを測定し、座標データを求める方法。



2地点の地点間の相対的な位置関係を求める

出典: マゼランシステムズジャパン

◇言葉の窓 ※46:「GNSS」

全球測位衛星システムのことで、衛星の情報を受信し、計算を行うことで観測地点の位置情報を得ることができる。

GNSS測量機器は、人工衛星から送信される電波を利用した測位方式で、地球を楕円体に見立てて、座標値を得ることができる。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。

以上の3次元起工測量技術について、UAV（無人航空機）写真測量、レーザ測量及び、GNSS測量の順で説明する。

3. UAV写真測量

(1) UAV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、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。

従来であれば、現地の地形・地物を測定し、2次元の平面図や設計図に起こして、工事を進めていたが、UAV写真測量等の技術の進歩は次のような変化をもたらした。

(2) UAVでの3次元測量の特徴

① 所要時間と費用

UAV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GNSS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を用いたUAV写真測量である。

例えば、地上でのトータルステーションを使った測量では時間を要するが、UAV写真測量では、写真を撮って解析してしまえば、あとは3次元CAD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。

② 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、BIM/CIM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。UAV写真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、UAVやレーザの利用に移り変わりつつある。

なお、実際には、山を切り崩す1期工事の測量はUAVで行い、ある程度、平らになった段階の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。

UAVや3次元化の元自動ソフトの導入により 短時間で効率的に3次元点群データの作成が可能



従来の2次元図面



詳細な3次元点群データ

出典：国土交通省

③ UAV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得ることができる。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。

UAV写真測量の特徴

解像度が高い

航空機より低空で撮影のためデータの解像度が高く、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。

業務進捗の把握可能

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。

時間を大幅に短縮

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、大変な時間がかかり、時間を大幅に短縮できる。

効率的・経済的

人ではどう頑張っても1日に500～600ポイント程度しか撮れないが、ドローンなら何百万点、何千万点という座標を短時間で撮れ、従来手法での測量業務よりも安価にできる。

危険場所も測量可能

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の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。

工事を止めずに測量

トラックや重機などの動いているものが写真に入っても影響がないため、工事を止めずに測量できる。

障害物が写る

例えば、山は木でおおわれているので、それを避けて地面を写すことはできないなど、障害となるものがあったとしてもそのまま写る。

(3) 必要な計測性能及び測定精度

① 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。

② UAV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。

③ 空中写真測量(UAV)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。

④ 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、SFM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^{※33}参照)

■資料:「画素」

① 画素

- 別名「ピクセル」ともいう。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・ピクセルが詰まっているということ。
- デジタル画面を構成する色情報の最小単位。
- 画素数が増え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。
- 同じ大きさの画像であれば、画素数が多いほど密度が高くなり、精細な画像が得られる。
- デジタルカメラの性能としてよく使われる有効画素数は、カメラが搭載する撮像素子のうち、実際に使用する素子(画素)の総数のこと。

② 地上画素寸法とは

- 1画素に対する地上の寸法。
- 撮影高度は、3次元点群データの高さの精度を最大0.05mとするとき、地上画素寸法が0.01mとなるように使用するカメラの画素サイズと焦点距離から決定
- 撮影高度 = (地上画素寸法 / 使用カメラの1画素あたりのサイズ) × 焦点距離

4. 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(XYZ)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で、写真で測量できる。

(2) 実体視

- 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。
- 片目ずつ目を瞑って試してみると、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れているのである。
- 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出来る。これを「実体視」という。
- これと全く同じことをUAV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、UAV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でき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。擬似的な立体である。
- 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。
- UAV写真測量で利用するSFM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、でき上がった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。

5. 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

2015年9月に航空法の一部が改正され、2015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)」である。

いわゆるドローン(マルチコプター)、ラジコン機、農業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))



(ラジコン機)



(農業散布用ヘリコプター)

出典:国土交通省

(2) 航空法

① 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。

◆2019年9月18日付航空法「追加事項」

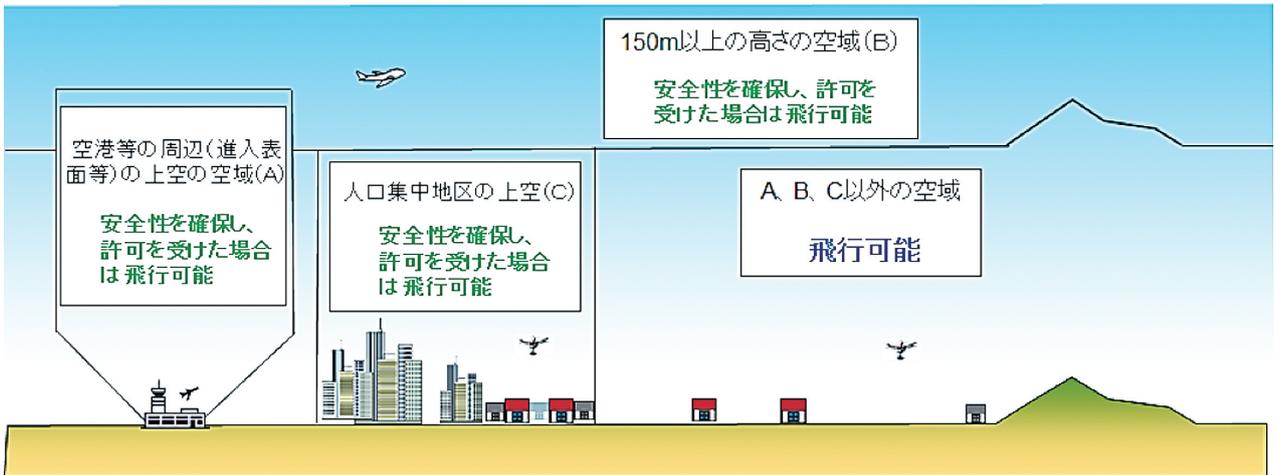
- アルコール又は薬物等の影響下で飛行させないこと。
- 飛行前確認を行うこと。
- 航空機又は他の無人航空機との衝突を予防するよう飛行させること。
- 他人に迷惑を及ぼすような方法で飛行させないこと。



出典:国土交通省

② 飛行禁止空域

- 空港等の周辺の空域
- 地表又は水面から150m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

■資料： 「人口集中地区 (DID)」

国勢調査基本単位区を基礎単位として、1)原則として人口密度が1平方キロメートル当たり4,000人以上の基本単位区等が市区町村の境域内で互いに隣接して、2)それらの隣接した地域の人口が国勢調査時に5,000人以上を有するこの地域を「人口集中地区」とした。

出典:総務省



出典:国土交通省

③「飛行情報共有システム」(FISS)

- 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)
- このシステムは、有人航空機や無人航空機の運航者が、事前に飛行日時・経路・高度等の飛行計画情報をオンラインサービスに登録することで、オンライン上で情報共有ができるもの。
- つまり、無人航空機の飛行予定エリアで、他の有人航空機や無人航空機の飛行予定がないか確認することができ、無人航空機の飛行予定エリアで、自分の飛行予定を他の機体の操縦者に知らせることができる、というものである。

(3)小型無人機等飛行禁止法

重要施設及びその周辺おおむね300mの周辺地域の上空において小型無人飛行機等の飛行を原則禁止する法律で、200g未満の重量の飛行機等も対象となる。

対象飛行機等	<p>①小型無人飛行機:無人飛行機(ラジコン飛行機等)、無人滑空機、無人回転翼航空機(ドローン等)、無人飛行船等</p> <p>②特定航空用機器:気球、ハングライダー、パラグライダー 等</p>
対象施設	<p>①国の重要な施設:国会議事堂、内閣総理大臣邸宅、危機管理行政機関、最高裁判所庁舎、皇居・御所、政党事務所</p> <p>②外国公館、③防衛施設、④空港、⑤原子力事業所</p>
2020年の改正	国土交通大臣が指定する空港の周辺地域(空港の敷地・区域やその周辺概ね300mの地域)の上空において、重さや大きさにかかわらず、小型無人機等を飛行させることが禁止。
命令・措置	<p>①警察官等は、違反者に対して、機器の撤去その他必要な措置をとることを命令することができる。</p> <p>②小型無人機等の飛行妨害、機器の破損その他必要な措置をとることができる。</p> <p>③命令に違反した場合は、1年以下の懲役又は50万円以下の罰金。</p>

(4) 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電波干渉が強い環境ではコントローラ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 電波法を遵守すること

- 電波を利用して無人航空機を飛行させる場合、電波法を遵守することが求められ、機体によっては無線局を開設する必要がある場合が生じる。

④ 特定の飛行禁止場所に留意すること。

- 公園や神社仏閣等では、敷地上空での無人航空機の飛行を禁止している場合があり、無人航空機を飛行すると、所有権の侵害とされる可能性がある。

⑤ 映像撮影はプライバシー等に注意すること

- 無人航空機を利用して映像を撮影し、インターネット上で公開する場合は、「『ドローン』による撮影映像等のインターネット上での取扱いに係るガイドライン」(総務省)に従って、第三者のプライバシー等に注意する。

⑥ 国土交通省への申請が必要な場合

- 航空法に定める「飛行禁止空域」での飛行や、飛行の方法によらない飛行を行おうとする場合、飛行予定日の少なくとも10開庁日前までに、国土交通省に申請が必要である。

※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。

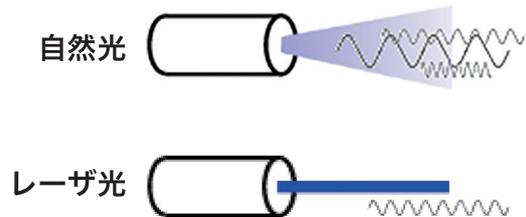
6. レーザ測量(地上レーザスキャナを用いた3次元点群データ作成)

■資料:「レーザ基礎知識」

レーザは、干渉性(コヒーレンス)に優れ、狭帯域な波で、光を特定の方向に集中できる指向性や光を一点に集中する収束性が極めて良い光である。

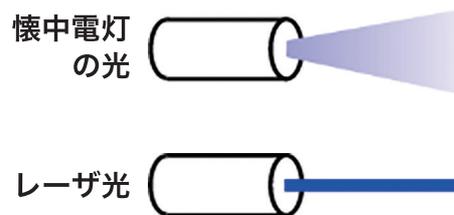
◆干渉性(コヒーレンス)

一つの定まった波長をもつ光で、連続的に続いていて光の山と山、谷と谷が一致する規則正しい光のことである。



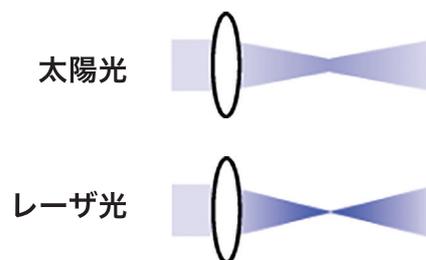
◆指向性

ランプなどの通常の光源はあらゆる方向に分散するのに対して、レーザは直進しほとんど広がらない。



◆収束性

太陽光はいろいろな波長からなり、平行光でないため鋭く焦点に集めることができない。しかし、レーザは普通の光と異なって、狭い面積にきわめて高密度の光エネルギーを集中できる。



そのため、コンピュータやオーディオ機器、医療機器等、広い分野で利用されている。また、変調したレーザ光やパルスをもつレーザ光を物体に照射し、反射してきたレーザ光の位相を観測したり、往復時間を観測したりすることにより、正確に距離を観測できる。この距離が正確に観測できるという特性は、測量にも有効で、トータルステーションや航空レーザ測量システム、車載写真レーザ測量システム等の測量機器にも利用されている。

◆パルス：細かい時間間隔で点滅をくり返すレーザのこと。

◆位相：波の式の角度部分

(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(XYZ)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。
- 一点一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である。
- 直接点群データが取得できるため、3次元を復元するSFM処理は不要だが、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。
- 短時間、少人数で高密度・高精度の3次元現況データが得られる。

■資料:「地上型レーザスキャナ(TLS)」

前方の断面を測量するようにレーザ光を照射すると同時に、機体を回転させることにより、周囲に存在する地形・地物までの距離、方向を観測し、3次元データを得られる機械。

除去する点が多い地区では、フィルタリングにかかる作業が増えるため、レーザを遮るものがない場所に限定することが望ましい。



出典: (一社)全国測量設計業協会連合会北陸地区協議

(3) レーザ測量の手順

① 踏査選定

- 3D測量を行う上で、測量範囲の全てを捕えるように基準点を選定する。

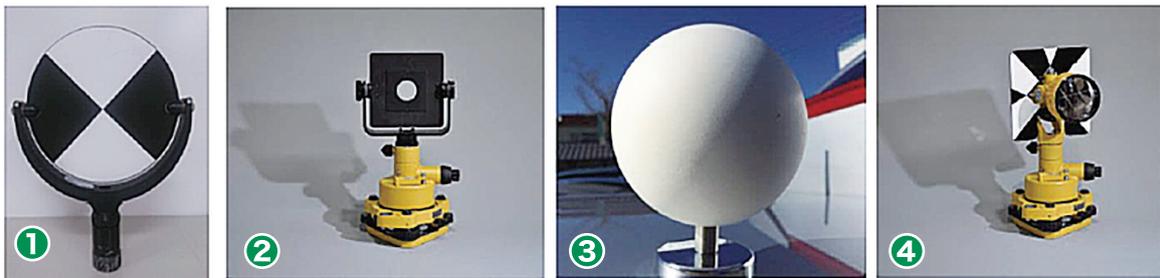
② 標定点測量・設置

- 現地において、トータルステーションを用いて選定した箇所の測量を行い、標定点となる座標値を計測する。
- また、標定点の上には、標識を設置することが定められている。

■ 資料:「標識」

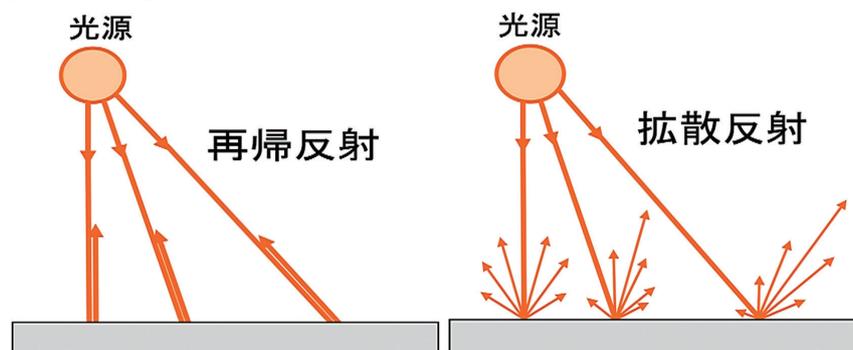
地上型レーザスキャナは、標識を自動的に観測する機能が備えられているため、地上レーザスキャナに適合した標識を使う必要があり、標識には次のようなものがある。

- ① チェッカ : 拡散面に反射率の異なる領域を複数有するもの
- ② レトロリフレクタ: 再帰反射性を有する反射部を有するもの
- ③ スフィア : 表面が拡散反射率90以上の球体のもの
- ④ コーナキューブ: 再帰反射性を有するプリズム



出典:国土交通省

◆ 再帰反射、拡散反射



出典:シーシーエス株式会社

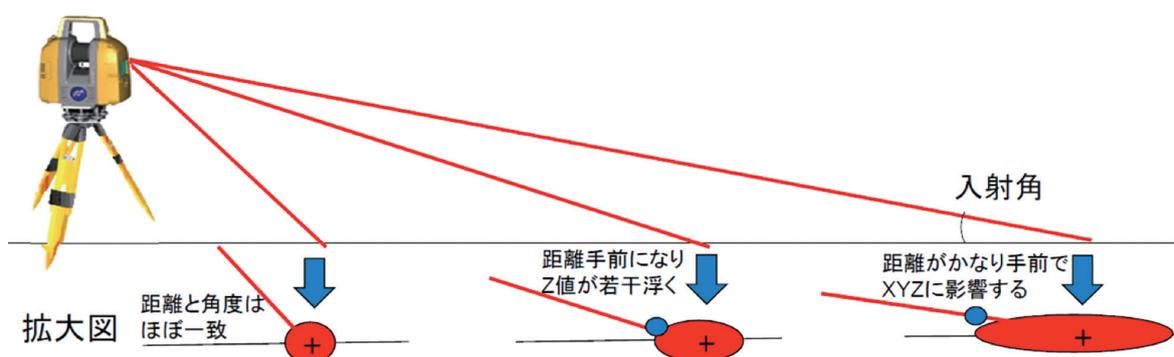
③ 地上レーザ計測

- 地上型レーザスキャナにより地形・地物の方向、距離及び反射強度を測定する。
- 次に標定点により測地座標系に変換してオリジナルデータを作成する。

■資料:「計測時の留意点」

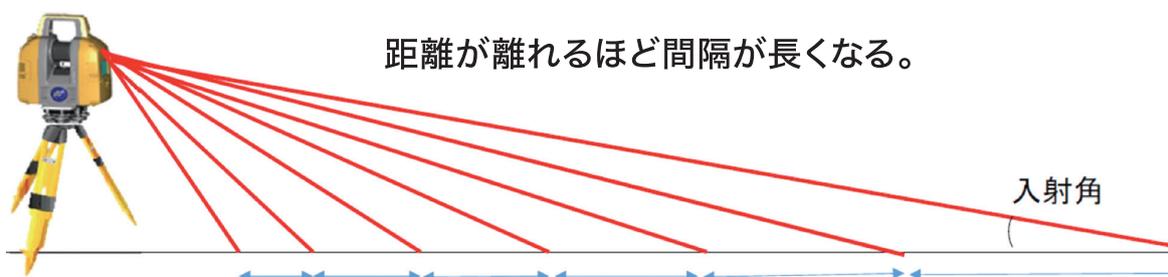
◆入射角による精度の低下

路面の計測でレーザ入射角が小さくなるとレーザ照射面が楕円形に広くなり、計測精度の低下につながる。



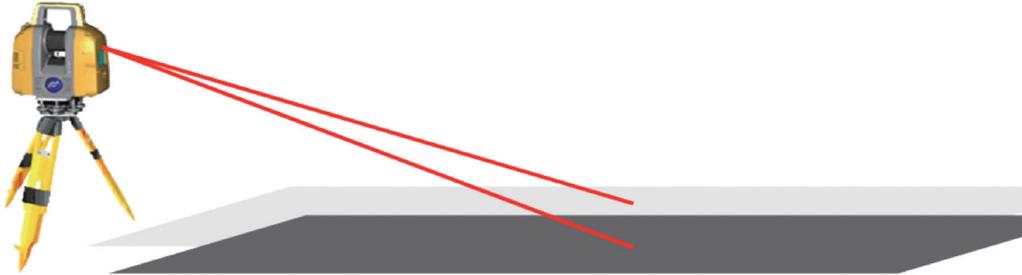
◆距離による密度の低下

地上型レーザスキャナのレーザ面は、本体から放射状に広がるため、測定面に奥行きがある場合、遠い場所は密度が低下する。



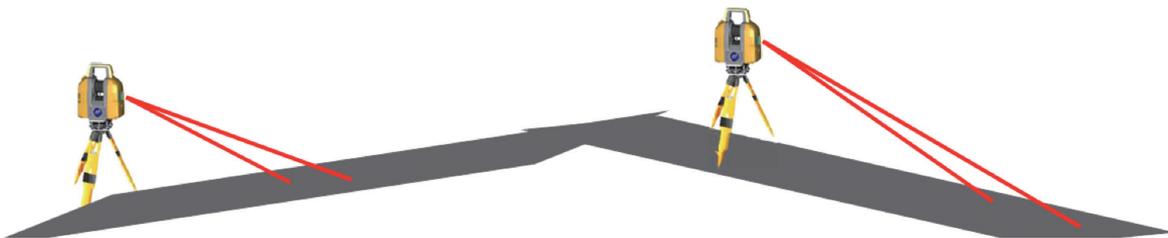
◆材質による計測差異

基層・表層の合材の状態（敷設してからの時間・材質）によって、同じ地上型レーザスキャナを用いた計測でも計測距離に差異がある。



◆勾配による計測差異

路面に勾配がある場合、登り勾配の計測は放射方向の計測密度が高くなり、計測可能距離も長くなるが、下り勾配ではその逆になる。



出典：トブコン

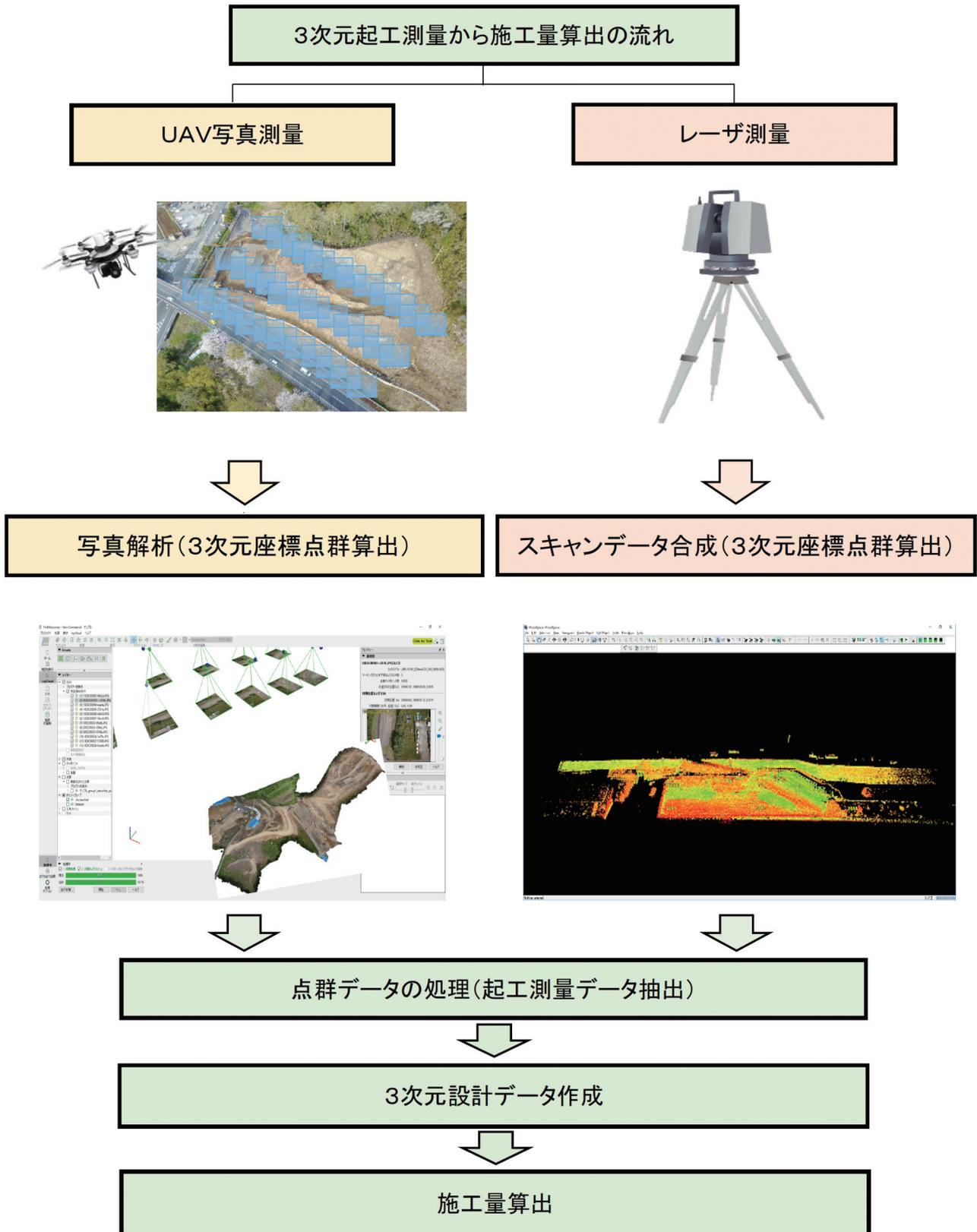
④ 座標系への変換

- 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一つにまとめる。
- 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 3次元点群編集

- 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、コンクリートボリューム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である。

(4) UAV写真測量とレーザ測量の流れの比較

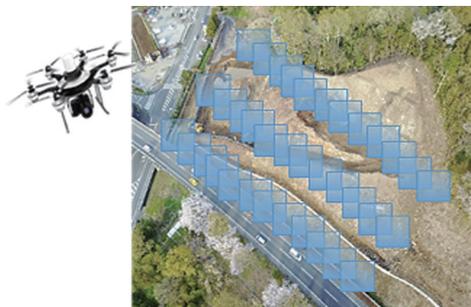


出典: 株式会社建設システム

(5) UAV写真測量とレーザ測量の違い

UAV写真測量

3次元座標を持った点を大量に得ることができる。

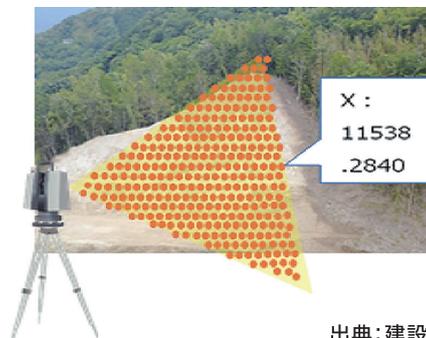


出典:建設システム

- 3次元点群を取得するには、写真測量ソフトによる処理が必要である。
- 人が立ち入れない場所でも計測が可能。
- 効率的に、一度で広範囲の測量ができる。
- 環境光が十分でない場所や高架線、民家が隣接している場所は計測できない。
- 透明なものや光沢が強いものは十分な特徴点を得られないため計測できない。
- レンズの歪み補正の不完全さに起因するゆらぎが生じる。

レーザ測量

一度に大量の点群を取得することができる。



出典:建設システム

- 3次元点群データを直接取得できる。
- 短時間、少人数で高密度・高精度の3次元現況データが得られる。
- 機材設置の移動が多くなるなど、非効率になる場合がある。
- 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できない。
- 直接レーザを放射するため、物体表面の材質は影響がない。
- 入射角等の関係による精度劣化や距離による減衰がある。

(6) レーザ測量の種類

レーザ測量には、前述した地上型レーザ測量(TLS)のほかに、UAVレーザ測量(UAVLS)、車載写真レーザ測量(MMS)がある。

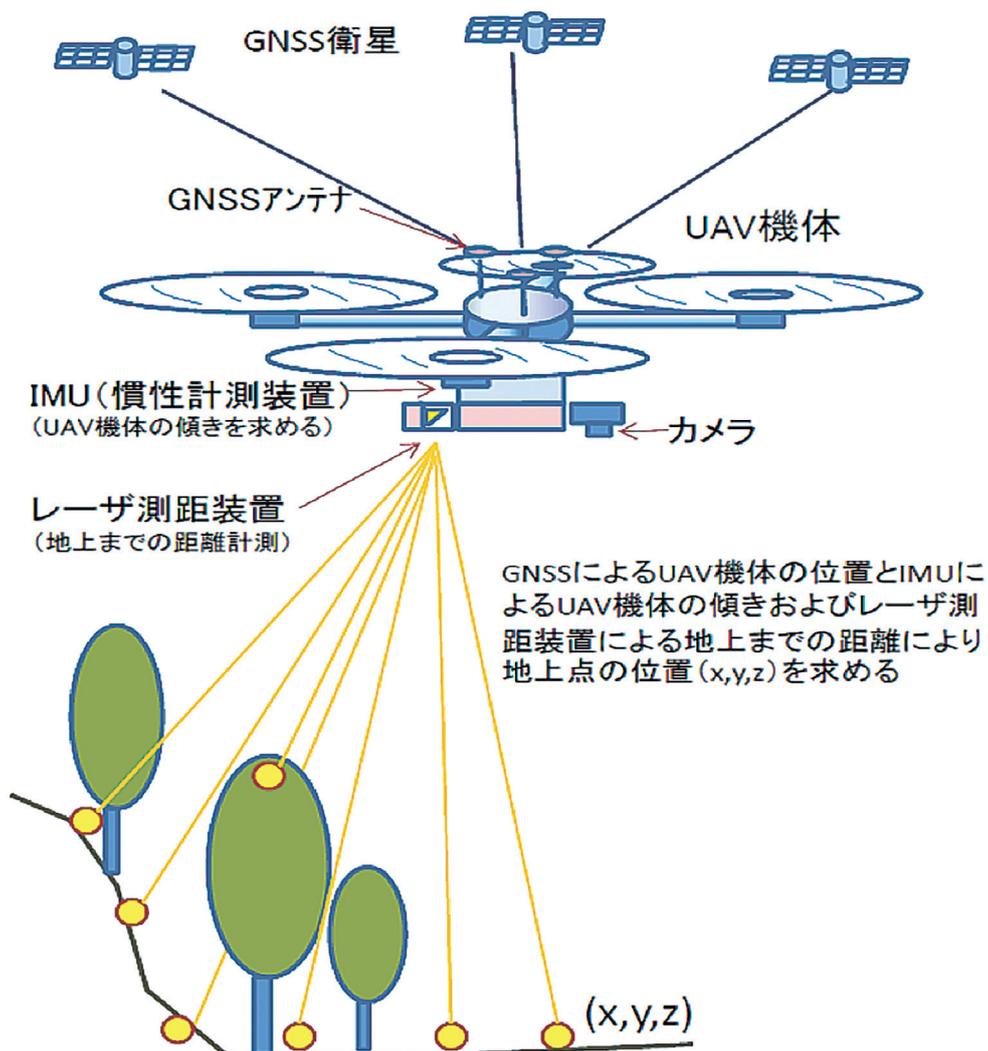
① UAVレーザ測量(UAVLS)

GNSS受信機(衛星測位システム)とIMU装置(慣性計測装置)によりUAVの位置と姿勢の情報を取得しながら、レーザスキャナにより左右にレーザを照射し、レーザ光の照射方向と地上までの距離を計測するもの。

計測データの解析により、X、Y、Z座標をもった3次元点群データを得ることができる。

UAVレーザ測量の最大の特徴は、樹木があってもその下の地表面を精度よく測量できる点である。このシステムは毎秒数十万測定という高密度なレーザを照射することで、樹木の葉の隙間を通過して、地表面のデータを取得できる。

UAVレーザ測量の概要



■資料:「IMU (慣性計測装置)」

3次元の慣性運動を検出する装置。

「加速度センサ」や「角速度センサ」などを組み合わせた装置。

加速度センサ[m/s²]により並進運動を、角速度ジャイロセンサ[deg/sec]により回転運動を検出する。

■加速度センサで分かること

- ・傾き(重力方向検出)
- ・平行移動(動き・振動・衝撃・落下)
- ・速度(1階積分)
- ・変位(2階積分)

■ジャイロセンサで分かること

- ・回転運動(停止・定速・変動)
- ・角度(1階積分)

角速度と加速度を高精度に計測し計測結果を利用することで人やモノの運動状態や姿勢を測定することができる。

出典:丸文株式会社

② 車載写真レーザ測量(MMS)

MMS機(モバイルマッピングシステム)を車両に搭載し、動かしながらGNSS、3Dレーザスキャナ、高画質カメラで周囲を計測するシステム。

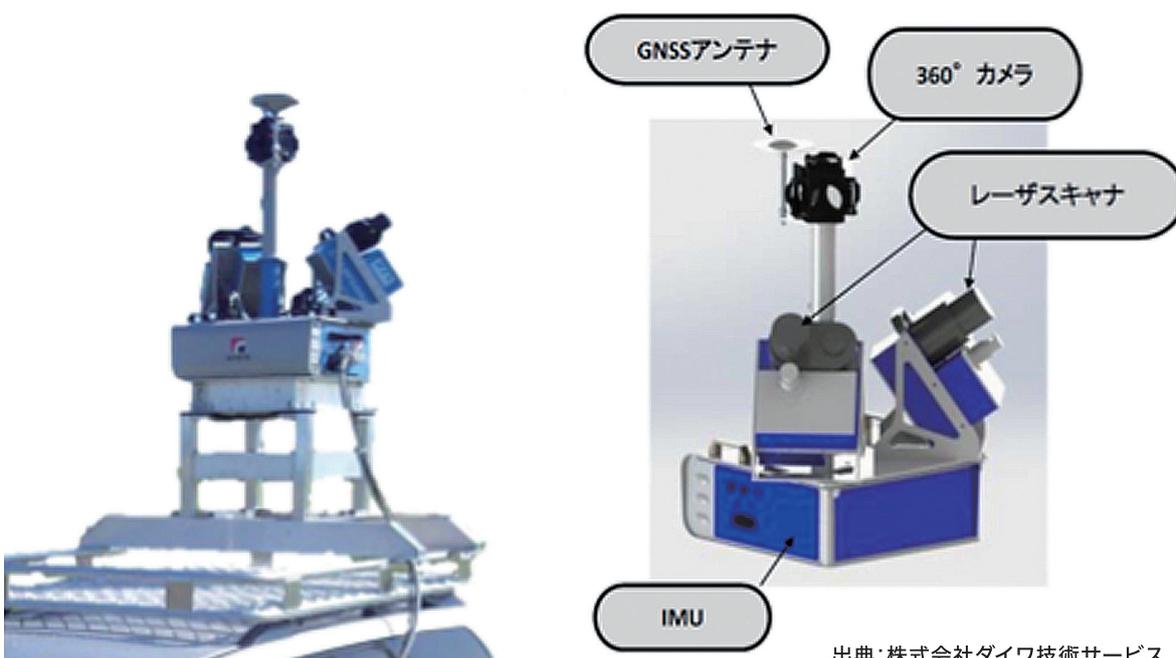


出典:株式会社ダイワ技術サービス

MMS(モバイルマッピングシステム)は、レーザスキャナ、デジタルカメラ、GNSS、IMU(慣性計測装置)等のセンサを組み合わせ、走行経路周辺の空間情報等を取得するものである。

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、広範囲を均一な密度で測量できる。

取得できるデータは主に3次元点群データ、デジタルカメラ画像・全周囲画像である。3次元点群データは直角平面座標のX、Y、Zの情報に加え、デジタル画像からの色情報やレーザスキャナの反射率なども取得しており、走行経路周辺の現地状況をコンピュータ上で再現することができる。



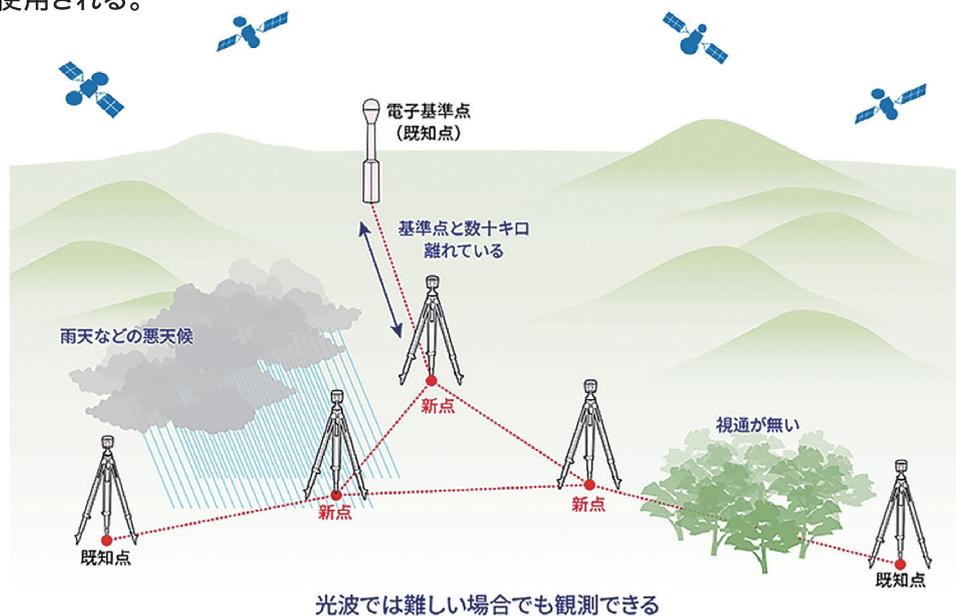
出典:株式会社ダイワ技術サービス

7. GNSS測量

GNSS測量には、スタティック法やキネマティック法、RTK法、ネットワーク型RTK法などがある。

(1)スタティック法

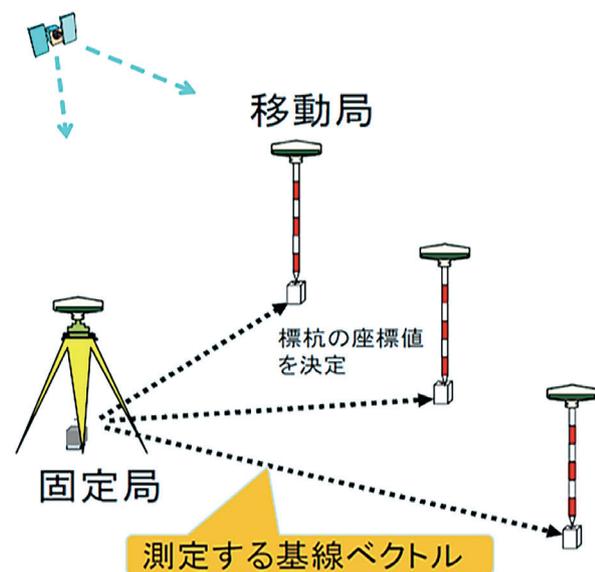
GNSS測量機を三脚で観測点(複数の既知点と新点)に据え、長時間(30~120分)連続受信し観測点間の基線ベクトルを求める測量方法で、高精度で観測できるため、主にGNSSによる基準点測量に使用される。



出典:株式会社CSS技術開発

(2)キネマティック法

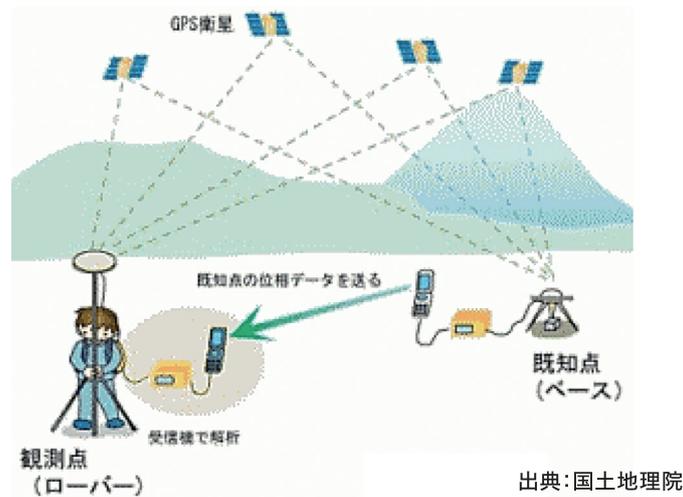
GNSS受信機の1台を固定(既知点)し、他の1台は観測点を移動し、固定点と観測点の基線ベクトルを求める。移動観測でき、観測時間が1分以上に短縮された。



出典:国土地理院

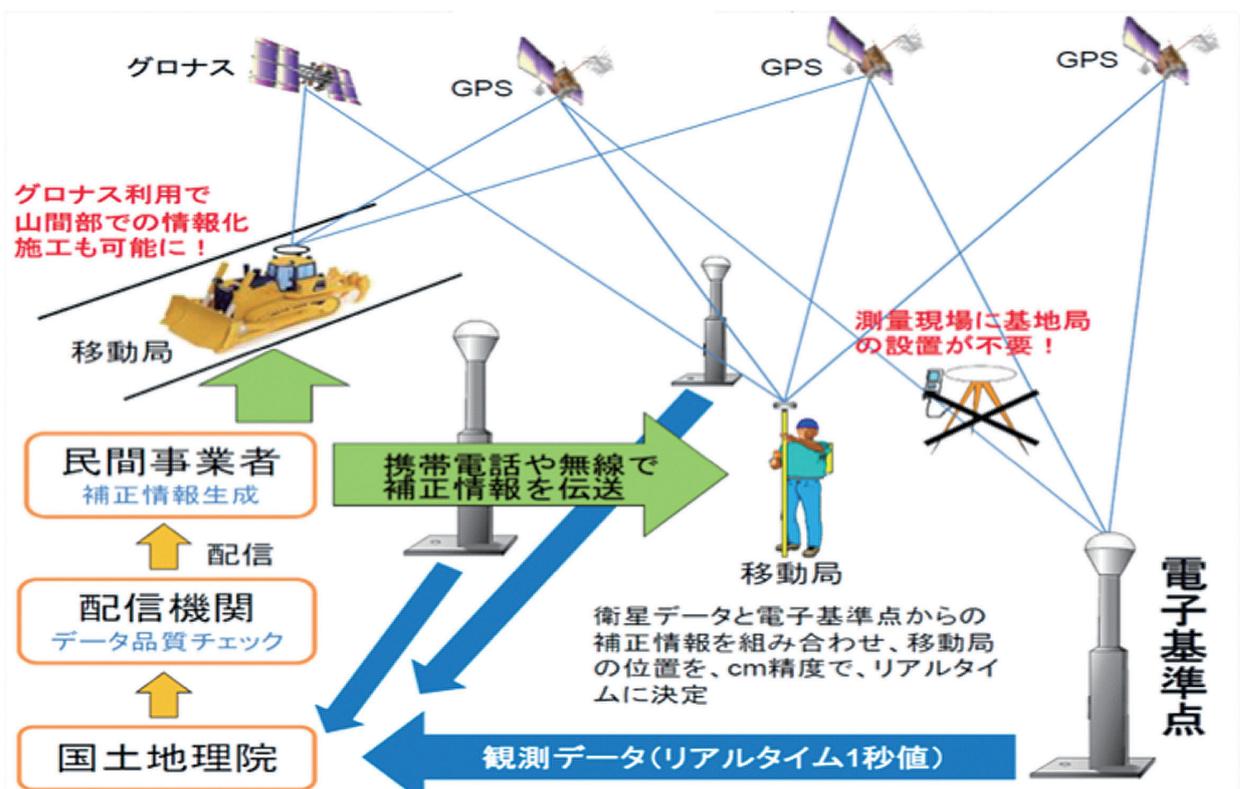
(3) RTK法(リアルタイムキネマティック測量)

基準局と移動局で同時にGNSS衛星から信号を受信し、基線解析により両局間の基線ベクトルを求め、瞬時に新座標を計算し、パソコンに表示する。1秒で観測できるが距離が離れると観測精度が落ちる。



(4) ネットワーク型RTK法

周辺の3点以上の電子基準点の観測データから作成した補正情報を組み合わせることにより、距離が離れてもRTK法と同等の精度で観測できる。また基地局を設置する必要がなく、GNSS受信機1台で観測作業が可能である。



出典: 国土地理院

■資料:「電子基準点」

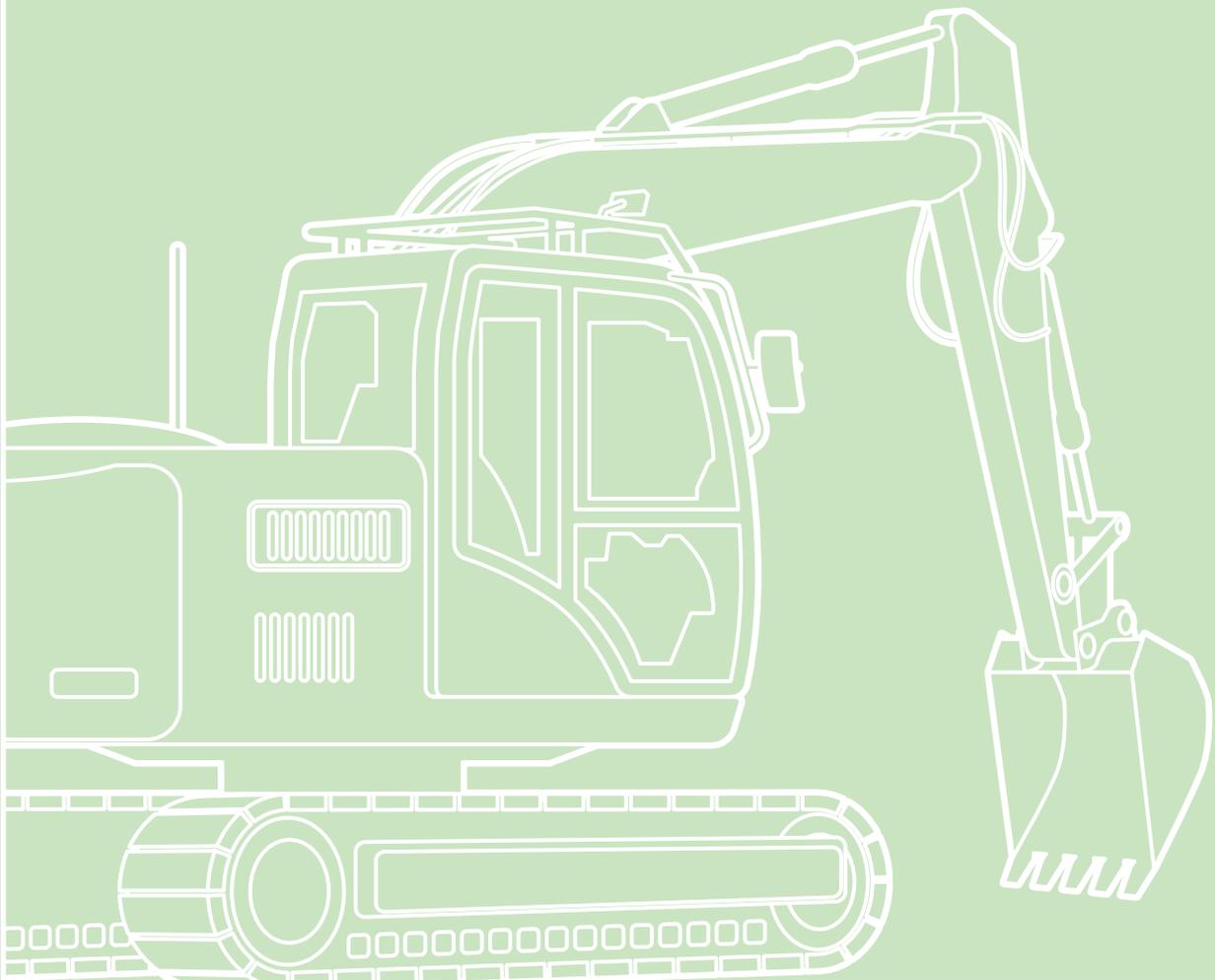
電子基準点は、全国約1,300ヶ所に設置されたGNSS連続観測点で、上部にGNSS衛星からの電波を受信するアンテナ、内部には受信機と通信用機器等が格納されている。



出典:国土地理院

第三章

ICT施工・施工管理



第III章

ICT施工・施工管理

1. ICT施工の概要

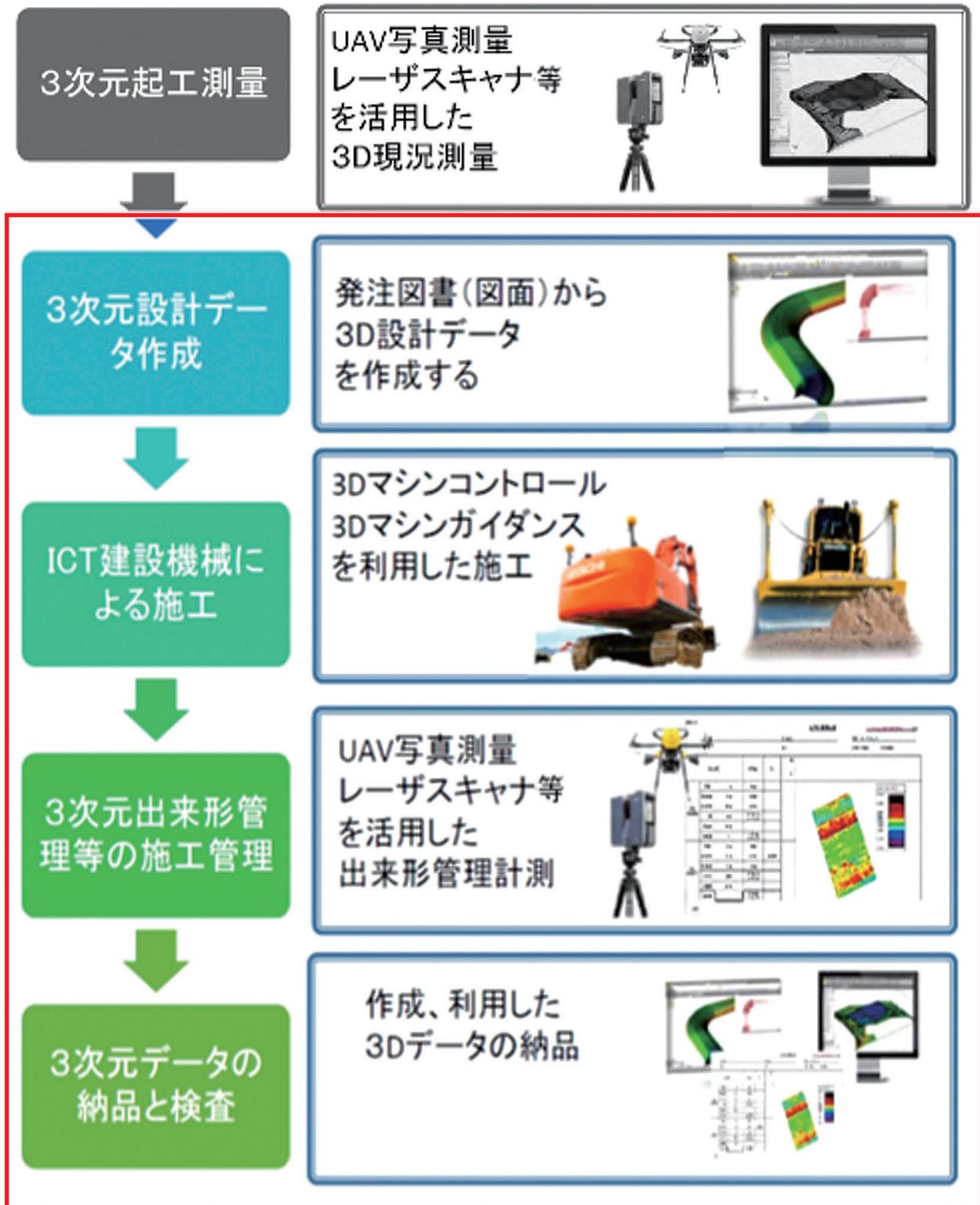
ICT施工とは、建設事業における「施工」において、情報通信技術（ICT）の活用により、各プロセスから得られる電子情報をやりとりして高効率・高精度な施工を実現するものである。

施工で得られる電子情報を施工後の維持管理等に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システムのことである。



出典：国土交通省

2. ICT施工の流れ

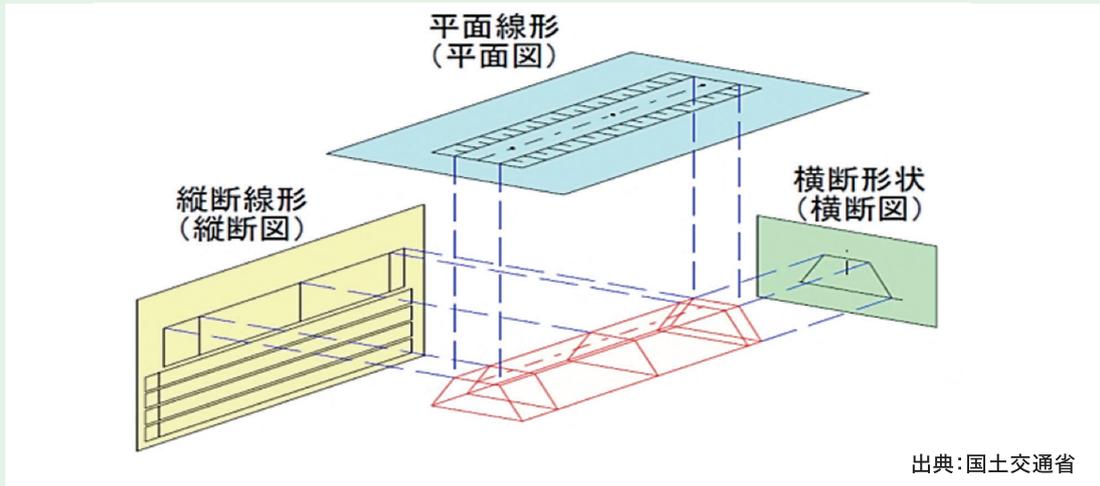


出典:国土交通省

3. 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、縦断面図、横断面図)^{※47}と線形計算書に示された情報から、幾何形状^{※48}の要素を読み取って作成する。

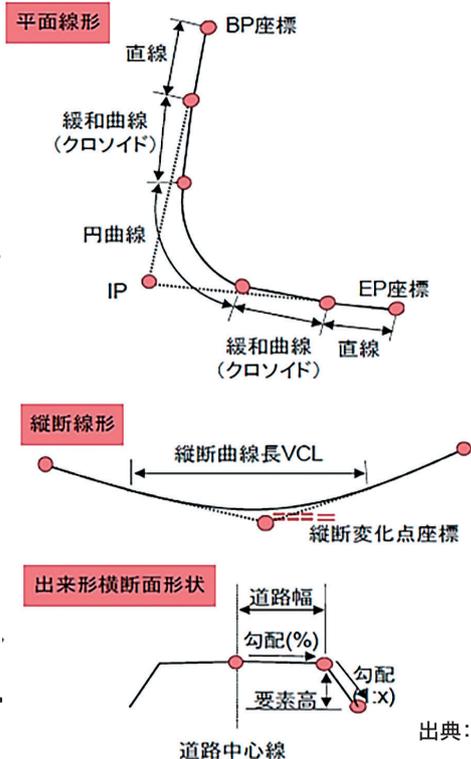
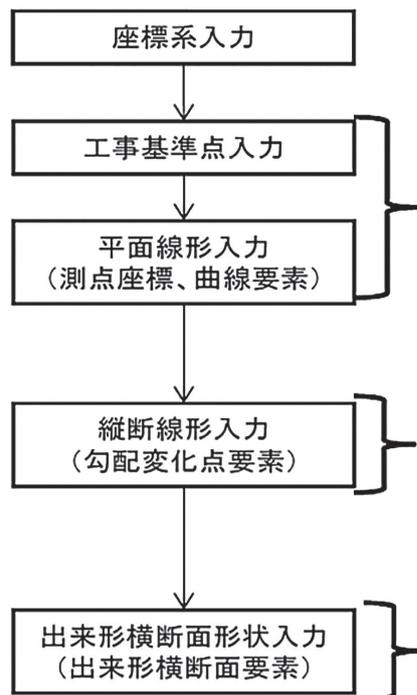
◇言葉の窓※47:「平面図、縦断面図、横断面図」



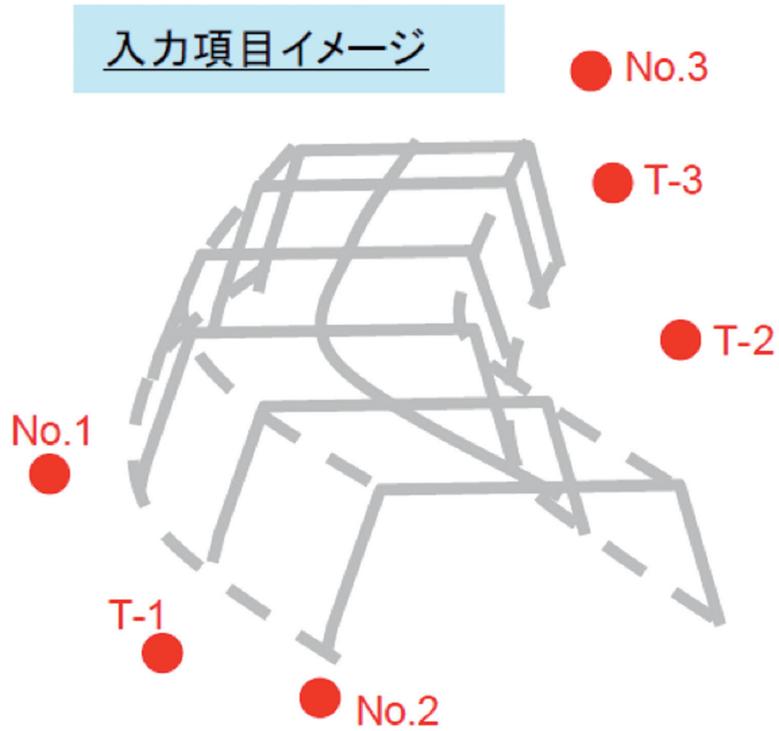
◇言葉の窓※48:「幾何形状」

始点や終点の座標、半径、縦断曲線、横断形状の図形や空間の形状

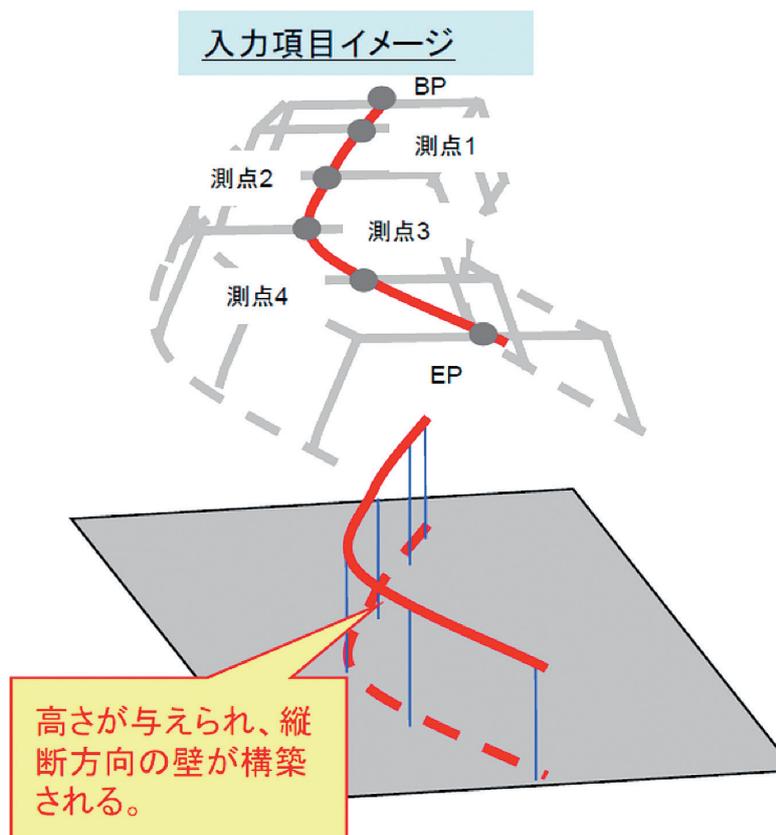
(1) 3次元設計データの作成概要



■資料:「工事基準点の入カイメージ」

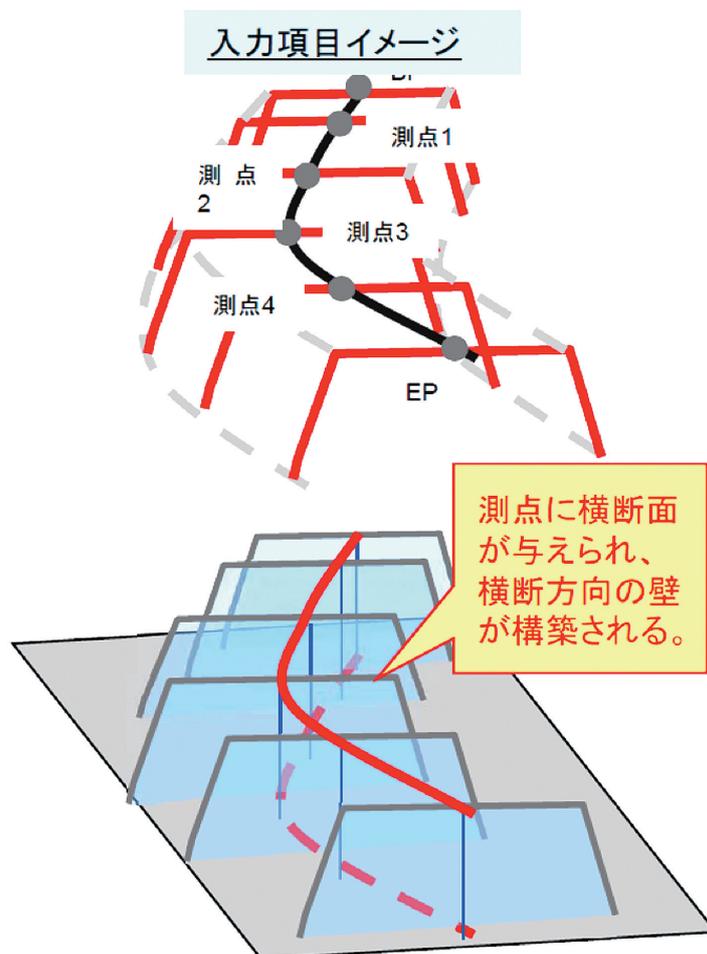


■資料:「平面線形入カイメージ」



出典:国土交通省

■資料:「横断線形入力イメージ」



■資料:「3次元形状の作成」

施工幅に合わせて横断のスケルトンデータを保管してTINデータ化(p27・28参照)する。

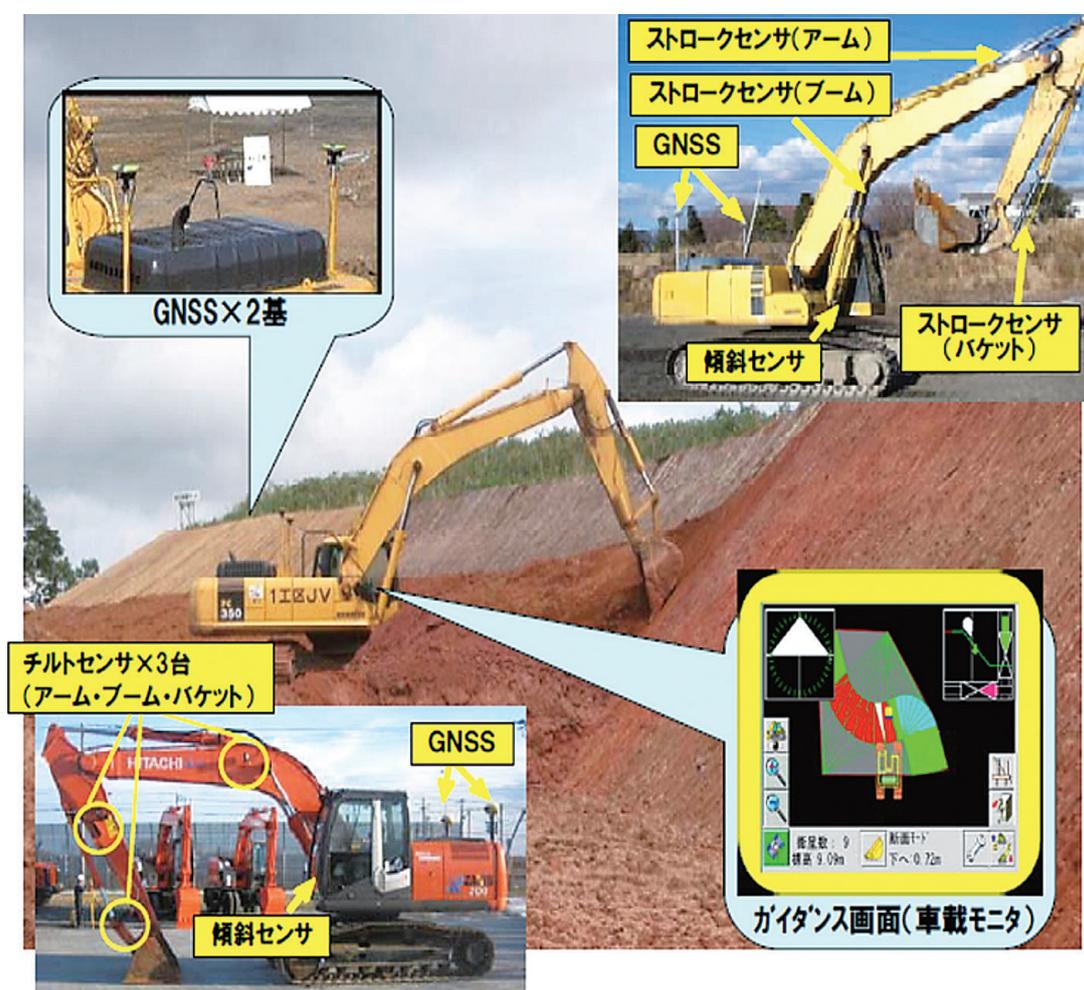


出典:国土交通省

4. ICT建設機械による施工

従来の機械施工では現地の丁張りをを用いた施工が主流であったが、情報通信技術の発展・普及に伴い、従来の施工方法に加えて施工機械に搭載したマシンコントロール・マシンガイダンス技術により提供される「設計と作業装置の位置との差分値の表示」や「設計に合わせた作業装置の位置制御」を用いた施工方法が実用化されている。

また、これらの技術で利用している作業装置の位置情報は、「施工履歴データ」として目的物の作業後の形状計測値に活用することが可能である。



油圧ショベルのマシンガイダンスシステム技術(例)

出典:国土交通省

(1) ICT建設機械による施工手順

① 建機転送データの作成

- 設計データをICT建機に登録できる形式にデータ変換し、ICT建機に登録する。
- 例えば、完成面の設計データに対して、ICTブルドーザの3次元施工のために敷均し(土砂を平らにならすこと)、厚さ毎の層状データを追加作成する必要がある。

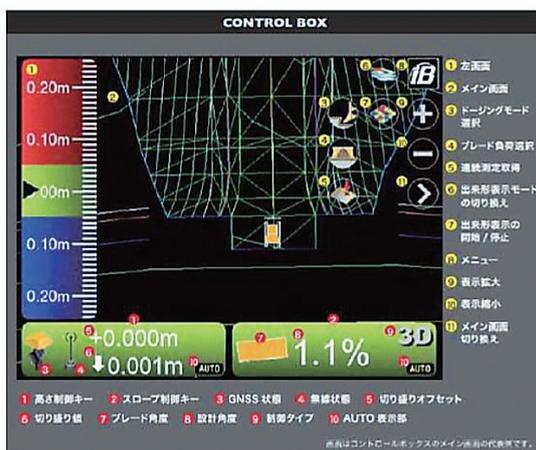
② ICT建機の初期設定

- ICT建機を現地搬入後、建機への位置情報が必要になる。現場内の基準点を利用して建機刃先への座標及び標高を設定する。
- ICT建機に登録された施工データを建機内モニタで確認する。
- 該当施工箇所を設定することにより、モニタに設計データが表示される。
- オペレータは表示されたデータに相違がないか確認する。

③ ICT建機による施工

- ICT建機のブルドーザやバックホウを現地搬入し、マシンガイダンスやマシンコントロール機能を用いて、現地施工を行う。

ICTブルドーザのモニタ画面



ICTバックホウのモニタ画面



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を通じてオペレータに提供し、操作をサポートする技術。

① 適用建設機械

- バックホウ、ブルドーザ、転圧ローラ等

② メリット

- オペレータの腕が落ちない。
- 丁張りが不要である。
- 経費は安く抑えられる。

③ 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の差が出る。



出典:国土交通省

(3) マシンコントロール(MC)

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て、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。

① 適用建設機械

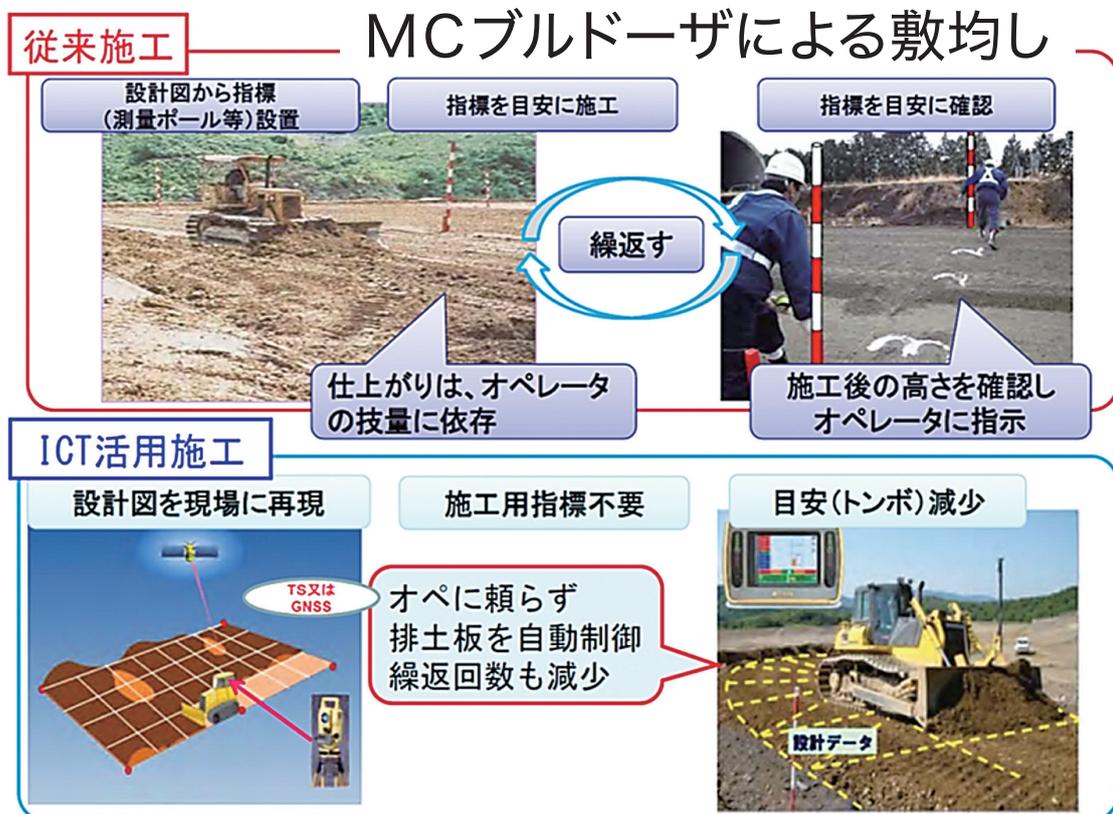
- バックホウ、ブルドーザ、モータグレーダ、アスファルトフィニッシャー等

② メリット

- 操作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。

③ デメリット

- オペレータの技量がICT建機に頼りきりになると落ちてしまう。
- 導入費用が高額である。



出典:国土交通省

盛土の締固め回数管理



出典：国土交通省

(4) ICT建設機器による施工の期待される効果

工 期	<ul style="list-style-type: none"> 丁張り設置の待ち時間、手戻り等がなくなるため、作業効率が向上し、工期短縮が期待できる。 1日当たりの掘削土量がクラウドで把握でき、工程管理がしやすくなる。
施 工	<ul style="list-style-type: none"> 余掘り量の低減・過掘りの心配がなくなり安定した施工ができる。
品 質	<ul style="list-style-type: none"> 重機内モニタで完成形状を確認しながら作業を行うので、高い品質・高い精度で施工ができる。
安 全	<ul style="list-style-type: none"> 従来は法面成型作業に補助作業員が必要であったが、ICT施工においては必要ないので接触事故を防止することができる。 手元作業員が重機周辺で作業しないため、安全を確保できる。

5. 3次元出来形管理、品質管理

出来形管理は、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ことである。

ここでは空中写真測量UAVを用いた出来形管理について記載する。

(1) 空中写真測量UAVによる出来形管理の手順

受注者の空中写真測量UAVによる出来形管理作業フロー	受注者の実施項目
<pre> graph TD A[施工計画書] --> B[準備工] B --> C[3次元設計データ入力] C --> D["(施 工)"] D --> E[出来形計測] E --> F[出来形帳票作成等] E -- 工事測量による修正 --> B </pre> <p>① 工事測量 ② 工事基準点設置 ③ 設計照査</p>	<p>①施工計画書の作成</p> <p>②機器の手配</p> <ul style="list-style-type: none"> ・UAV等 ・写真測量ソフトウェア ・点群処理ソフトウェア ・3次元設計データソフトウェア ・出来形帳票作成ソフトウェア ・出来高算出ソフトウェア <p>③工事基準点の設置</p> <p>④「3次元設計データ作成ソフトウェア」による3次元設計データの作成</p> <p>⑤カメラキャリブレーション</p> <p>⑥対空標識、標定点の設置</p> <p>⑦精度確認試験</p> <p>⑧空中写真測量(UAV)による出来形計測</p> <p>⑨写真測量ソフトおよび点群処理ソフトによるデータ処理</p> <p>⑩出来形および出来高の確認</p> <p>⑪電子成果品の納品</p>

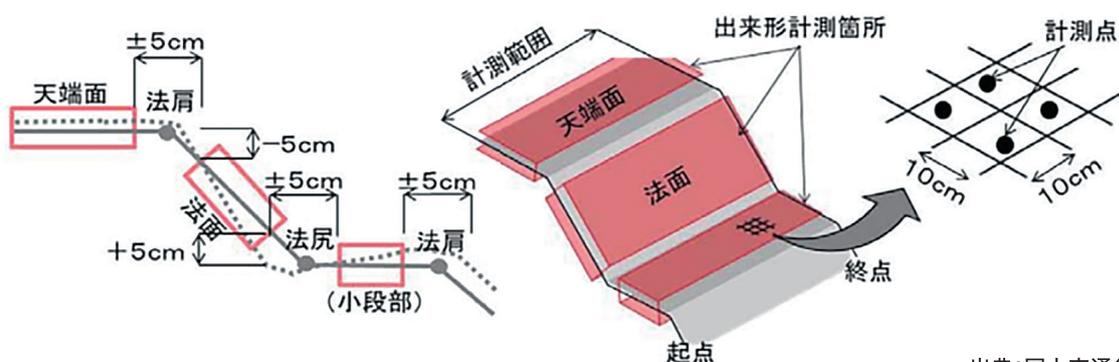
出典：国土交通省

(2) 出来形管理時の実施内容

① 出来形計測	UAVによる出来形計測で3次元座標値を取得して、出来形計測データを作成
② 出来形管理写真の撮影	写真管理基準(案)に基づく出来形管理写真の撮影
③ 出来形管理帳票の作成	3次元設計用データ及び出来形評価用データにより出来形管理図表を作成して提出

(3) 出来形計測箇所及び範囲

測定範囲	計測範囲は、3次元設計データに記述されている管理断面の起点から終点とし、天端面(掘削の場合は平場面)と法面(小段含む)の全面。
標高較差の算出 水平較差の算出	全ての範囲で10cmメッシュに1点以上の出来形座標値を取得し、設計面と標高較差または水平較差を算出。
除外範囲	法肩、法尻から水平方向に5cm以内に存在する計測点は、標高較差の評価から除外してもよい。同様に、標高方向に5cm以内にある計測点は、水平較差の評価から除外してもよい。



出典:国土交通省

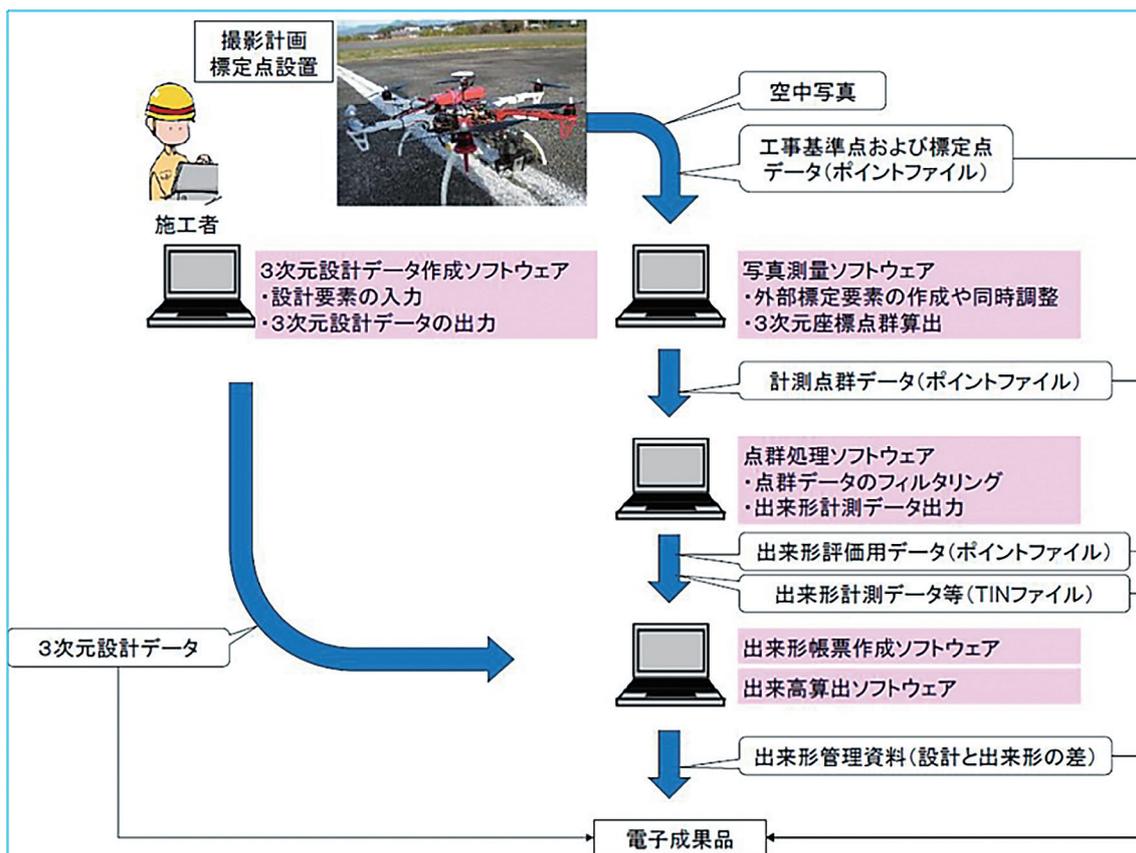
3次元計測による出来形管理のポイント

- ① 出来形計測箇所及び範囲: 断面管理から面管理へ
- ② 出来形管理基準値: 2つの規格値管理(平均値と個々の計測値)
- ③ 法面の測定項目: 法長から水平較差または標高較差へUAV

UAVによる出来形計測精度を確保するためのポイント

- ① 計測条件を満足する飛行計画の立案
 - ・対地高度、重複度ラップ率、地上画素寸法など
- ② 設置条件に基づく標定点・検証点の設置
 - ・外側標定点、内側標定点、検証点の間隔や位置
- ③ 標定点及び検証点の計測・所定の精度
 - ・4級基準点及び3級基準点と同等以上の精度が得られるようTSを用いた計測
- ④ 使用機器の性能確認
 - ・カメラキャリブレーション及び精度確認試験の実施

(4) 空中写真測量UAVによる出来形管理用のデータの流れ



出典:国土交通省

(5) 出来形管理帳票(出来形管理図表)作成の流れ

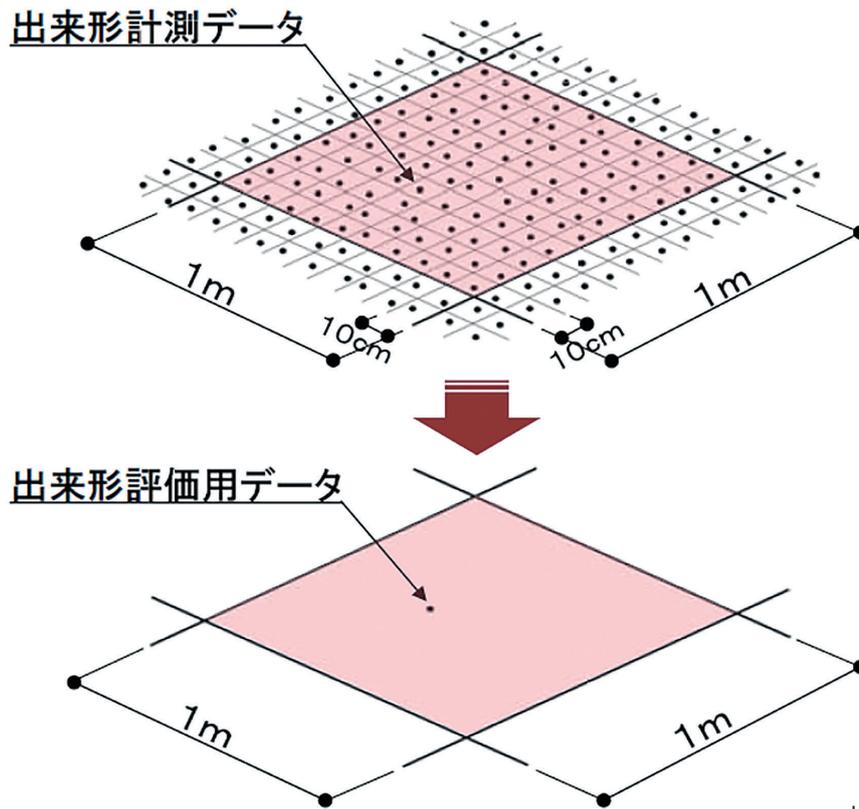
- ① 空中写真測量(UAV)による計測点群データ
- ② 出来形評価用データ抽出
- ③ 3次元設計データと出来形評価用データの各ポイントの離れ量を算出
- ④ 出来形管理帳票(出来形管理図表)の作成

(6) 出来形評価用データ抽出

計測点群データから出来形評価用データを抽出

- 計測点群データ: 1点以上/0.01m²
- 出来形評価用データ: 1点以上/1m²

※全ての計測点群データを用いることでコンピュータの処理を著しく低下させてしまう場合は、類似の座標データから代表点を抽出して点群データを減らすことが可能。



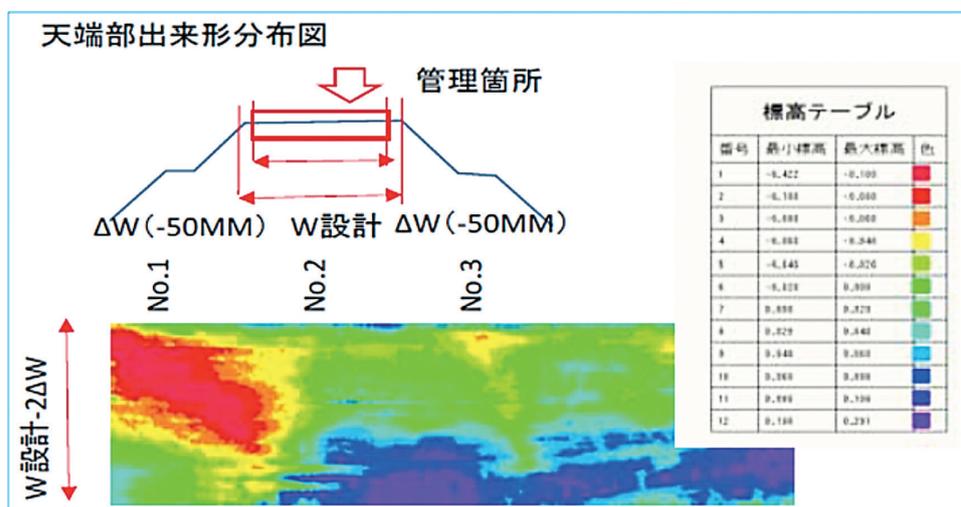
出典:国土交通省

(7) 3次元設計データと出来形評価用データの離れ量を算出

- 離れの計算結果の規格値に対する割合を示すヒートマップとして、 $\pm 100\%$ の範囲で結果を色分け区分
- 設計面と出来形評価用データの各ポイントの離れを評価範囲の平面上にプロットした分布図



出来形計測結果の面的なばらつきの評価



出典:国土交通省

■資料「ヒートマップ」

出来形点群と設計の差異が規格値に対してどの程度に収まっているかをポイントごとに評価結果をプロットした分布図で、3次元設計面と出来形評価用データの各ポイントとの離れにより出来形の良否判定を行う。

平均値や最大値、最小値、データ数、評価面積や棄却点数等、出来形管理要領で求められる評価情報も画面上に表示できる。

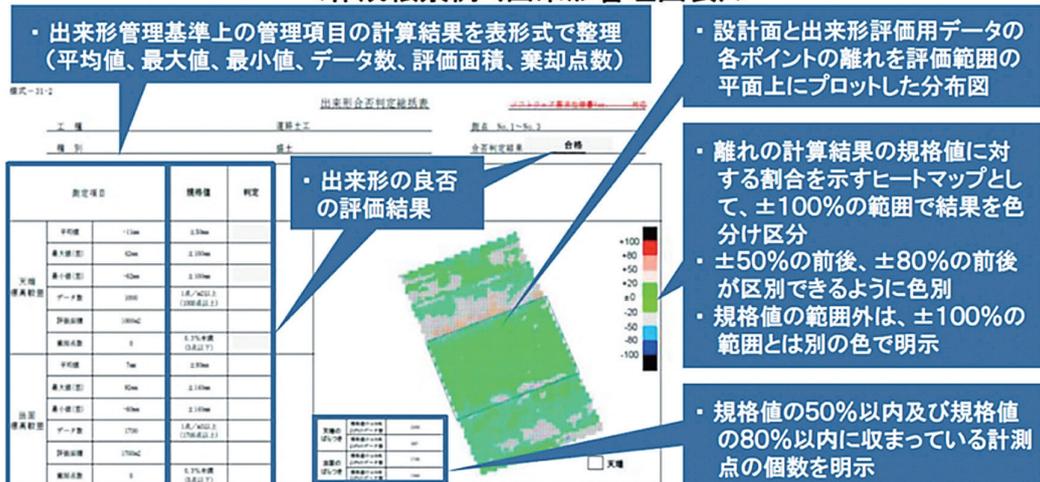


出典: 福井コンピュータ株式会社

(8) 出来形管理帳票の作成

- 帳票(出来形管理図表)は、出来形確認箇所(平場、天端、法面)ごとに作成。
- 標高較差あるいは水平較差(3次元設計面と出来形評価用データの各ポイントとの離れ)により出来形の良否を判断。

<作成帳票例(出来形管理図表)>



出来形管理帳票の作成のポイント

- ① 出来形評価用データの抽出
 - ・点群計測データから出来形評価用データを抽出
- ② 出来形管理基準上の管理項目
 - ・平均値、最大値、最小値、データ数、評価面積、棄却点数を表形式で整理
- ③ 規格値に対する割合を示すヒートマップの作成
 - ・ $\pm 50\%$ 及び $\pm 80\%$ の前後、規格値の範囲外を区別できる色で明示
- ④ ばらつきが判断できる計測点の個数
 - ・規格値の50%以内及び規格値の80%以内に 収まっている計測点の個数を明示

(9) 3次元出来形管理を行う技術

出来形管理には、次のような出来形管理技術がその特性に応じて活用されている。

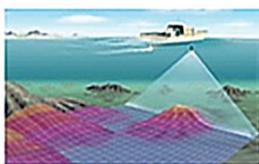
出来形管理技術	参考資料
・地上型レーザスキャナを用いた出来形管理	p35
・空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理	p27
・無人航空機搭載型レーザスキャナを用いた出来形管理	p41
・TS等光波方式を用いた出来形管理	p25
・TS(ノンプリズム方式)を用いた出来形管理	p25
・音響測深機器を用いた出来形管理	p61
・施工履歴データを用いた出来形管理	p62
・地上移動体搭載型レーザスキャナを用いた出来形管理	p42
・RTK-GNSSを用いた出来形管理	p44
・ネットワーク型RTK-GNSSを用いた出来形管理	p44

■資料「音響測深機器を用いた出来形管理」

地上型レーザスキャナは、標識を自動的に観測する機能が備えられているため、地上レーザスキャナに適合した標識を使う必要があり、標識には次のようなものがある。

ICT浚渫工(河川)

ナローマルチビームを用いた深淺測量



測点数:50cm平面格子に3点以上

例)縦断700m×横断80m=56,000m²
→56,000/0.5/0.5=224,000点(面)

(50cm平面格子に3点のデータを用いて河床面を作成し面毎に管理)

- ・ノイズ(水中浮遊物や魚群等)については、明らかに他の点群と違った位置にあるものはソフトにて除去
- ・測量の作業効率がとても良く、工期短縮や省人化へつながる
- ・水上での作業時間が従来よりも短く出来るため、安全性が高まる
- ・従来施工と比べて測量機械に費用を要する



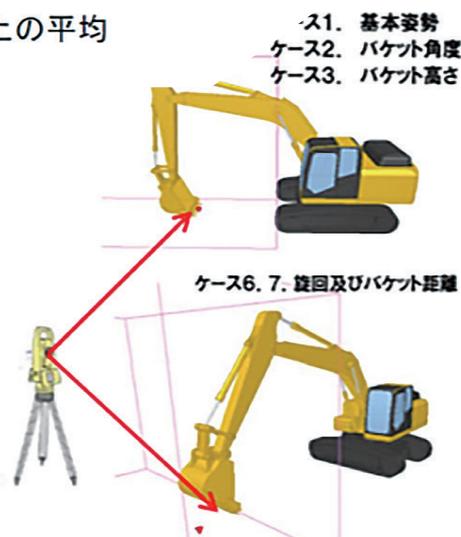
出典:国土交通省

■資料:「施工履歴データを用いた出来形管理」

○ 施工履歴データによる土工の出来高算出要領

- ・ICT土工の拡大に伴い、施工履歴データの活用が期待されている。
- ・施工履歴データの利用に先立ち、実施している作業装置の精度確認について計測センサーの状態を確認する姿勢毎に1回以上として簡素化する。
- ・バックホウの刃先位置表示とTS計測との較差の平均により確認する。

現状 32回の平均 → 改訂 7回以上の平均



出典:国土交通省

6. 3次元データの納品

(1) 作成する電子成果品

電子成果品	説明
① 3次元設計データ	LandXML等のオリジナルデータ(TIN)
② 出来形管理資料	出来形管理図表(PDF)またはビューワー付き3次元データ
③ 空中写真測量(UAV)による出来形評価用データ	CSV、LAS、LandXML等のポイントファイル
④ 空中写真測量(UAV)による出来形測量計測データ	LandXML等のオリジナルデータ(TIN)
⑤ 空中写真測量(UAV)による計測点群データ	CSV、LAS、LandXML等のポイントファイル
⑥ 工事基準点および標定点データ	CSV、LandXML、SIMA等のポイントファイル
⑦ 空中写真測量(UAV)で撮影したデジタル写真	JPEGファイル

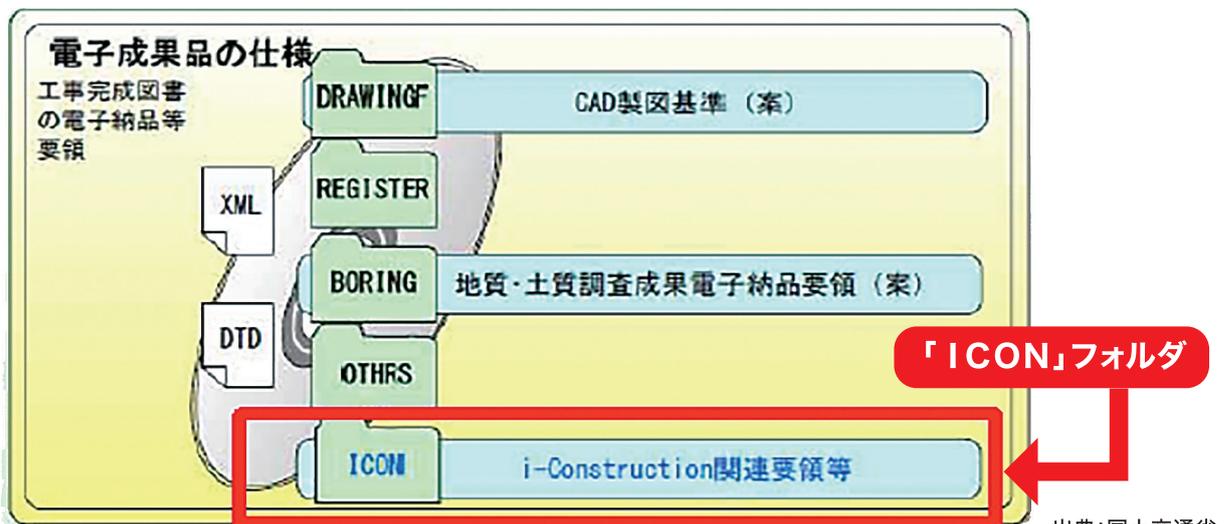
① 電子成果品

電子成果品(UAVによる出来形管理や数量算出の結果等の工事書類)を「工事完成図書」の電子納品等要領で定める「ICON」フォルダに格納して提出。

② 活用効果調査

ICT活用技術で施工した結果の活用効果調査を作成して提出。

(2) 電子成果品等の提出



出典：国土交通省

本成果物は、文部科学省の教育政策推進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》が実施した令和2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。

令和2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開発・実証 ～

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

令和3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。

