i-Constructionの推進に向けた測技協の取り組みについて

公益財団法人日本測量調査技術協会 技術委員会 委員長 赤松（あかまつ） 幸生（ゆきお）

1 はじめに

公益財団法人日本測量調査技術協会（以下，「測技協」）は，航空写真測量を中心に，UAV，移動計測車等も含めた最新技術の導入推進や，積算等に関するマニュアルづくりに取り組み，測量業界を技術面でリードしている団体である。また，2012年４月１日より公益財団法人として再出発し，公益性の高い測量事業を着実に推進する重責を担っている。

測量業界にとってi-Constructionが導入されるメリットは大きいと考えている。建設分野での測量データの活用場面が飛躍的に増加することで，産業としての成長や雇用の拡大につながることが期待される。また，３次元データ計測や解析技術など新しい取り組みに関与することで，「測量」の社会的位置付けが向上するメリットもあると考えている。

2 取り組みの概要

2015年後半から本格化したi-ConstructionおよびUAVの各種基準や積算検討では，内閣府，国土交通省，国土地理院を始めとする関係機関から，大変多くの協力要請を測技協にいただいた。表―１にその一覧を示すが，上記も踏まえ測技協（特に技術委員会）の総力をあげて対応させていただいた。年度末で時間が限られており必ずしも十分でない面も残ったが，（一社）全国測量設計

表―１　測技協が協力してきたi-Construction等の会議・委員会活動

項　目	会議・委員会名	測技協の協力内容
i-Construction関連	ICT導入協議会	赤松委員長参加
	「i-Constructionにおける測量-設計の受け渡し」会議	畠部会長参加，仕様/積算検討対応
	ICT導入協議会基準WG	アンケート対応
UAV関連	小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会	田中副委員長参加
	小型無人機の更なる安全確保のための制度設計に関する分科会	田中副委員長参加
	UAVを用いた空中写真測量に関する検討委員会	田中副委員長参加，仕様検討対応
	公共測量におけるUAV安全基準作成委員会	沼田副委員長参加
	UAS（無人飛行システム）測量調査協議会	吉永WG員参加

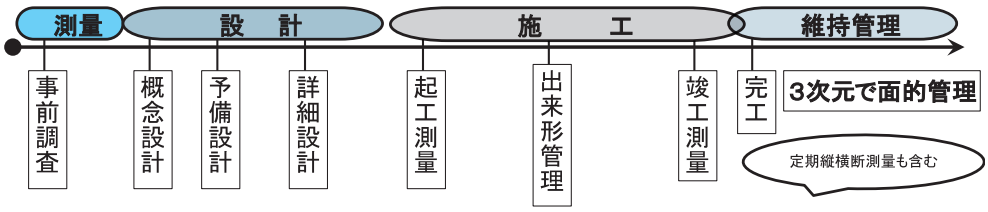
業協会連合会と連携して，測量業界を代表して基準検討等に深く関与し寄与できたと考えている。

3 空間計測技術（デジタルカメラ，航空レーザ，MMS等）の貢献

「i-Constructionにおける測量－設計の受け渡し」会議（以下，「受け渡し会議」）において，上流工程である測量から設計側に渡す３次元データのあり方について協議した。i-Constructionでは，UAVを用いて，多視点画像作成法（Structure from Motion，以下，「SfM」）により３次元モデルを作成する手法の確立が主体となっており，国土地理院が15基準の一つである「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」を策定している。測技協は受け渡し会議を含めこのマニュアル案の精度・データ仕様について議論し，発注・積算に関し施工の基準類についても答申した。UAV/ICTに関しては次項で詳述するとして，公共測量における空間計測技術について施工（工事測量）を含め図―１のようにまとめた。

グランドデザイン2050（2014）でも唱われている「ICTの劇的な進歩など技術革新の進展」に対し，測量業界では他産業に先駆け1990年代から欧米よりGPS，航空デジタルカメラ，レーザ計測（LiDAR）等を導入し，我が国の風土にあった３次元マップの構築に寄与してきた。特に，航空レーザ測量は大規模な地震・洪水といった自然災害が生ずるごとに緊急計測が行われた。測技協では公共測量作業規程の策定，災害協定，ポータルサイト（航空レーザ計測アーカイブズ：http://www.sokugikyo.or.jp/laser/）での整備範囲の公開を通じ，防災先進社会の構築に貢献している。さらに，2013年より研究が始まった「河川定期縦横断測量へのレーザプロファイラー適用性可能性検討」では，国土交通省水管理・国土保全局河川計画課，国土技術政策総合研究所社会資本施工高度化研究室・河川研究室，及び関西大学・東京都市大学と喧々諤々の協議を幾度となく行い，2016年に「航空レーザ測量による定期縦横断マニュア

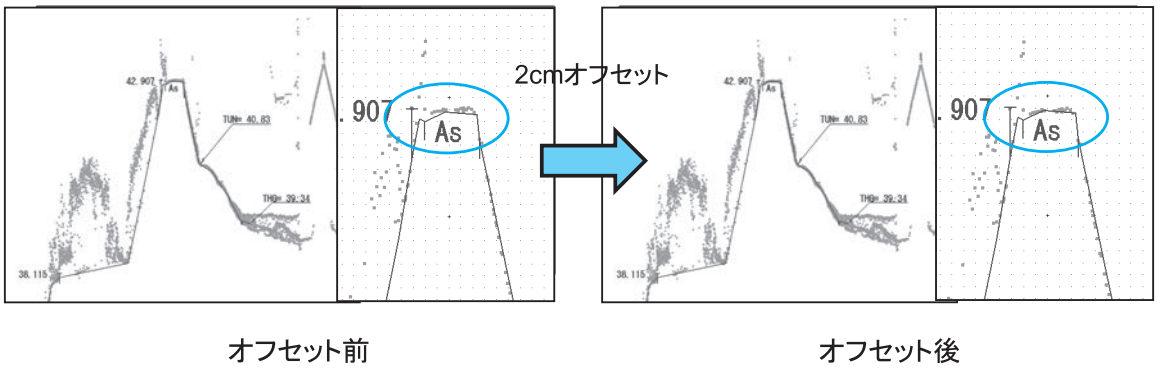
3次元土工における測量手法及び精度の整理



	公共測量			工事測量	公共測量
航空写真 植生：× 裸地：○	◎	○	△	×	× 【斜め写真含む】
航空レーザ 植生：△ 裸地：○	◎	◎	△	×	○
MMS 植生：× 裸地：○	【準則（地形測量○）】	△	△	△	○
地上レーザ 植生：× 裸地：△	△	△	△	○ 【レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案）】	△ 【地形測量17条対応】
UAV(カメラ) 植生：× 裸地：○	×	△	△	◎ 【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）】	○ 【UAVを用いた公共測量マニュアル（案）】
TS 植生：○ 裸地：○	△	◎	◎	◎	△

【準則（地形測量17条対応△）】
【準則（地形測量○、応用測量17条△）】
【UAVを用いた公共測量マニュアル（案）】
【準則（基準点測量○、応用測量○）】【TSによる出来形測量】

図―１　i-Constructionにおける空間計測技術の整理例



図―2　オフセットによる横断図調整前後例
線：従来の横断線，点：レーザ点群

ル（案）」や「航空レーザ測量による横断図調整マニュアル（案）」が完成し，実運用化を待つばかりである。この検討成果（図―2）は，i-Constructionの宿題でもある3次元モデルから2次元横断図を作成する手がかりになると考える。

2015年度末に公共測量作業規程の準則の3章に「車載写真レーザ測量」として掲載されたMobile Mapping System（以下，「MMS」）についても，2011年からワーキンググループが活動している。MMS_WGでは道路以外の河川，地籍，空港等での利活用を提言し，高密度な点群データの活用を啓蒙するだけでなく，規程の前身である「移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル（案）」の技術仕様の検討にも携わった。また，2016年の当協会の積算ハンドブックには，その標準歩掛を作成し掲載されている。

以上の航空レーザ測量やMMSだけでなく，航空デジタルカメラやナローマルチビーム測深といった3次元計測機器に対し標準的な仕様を検討し，コストも意識した標準積算に取り組むことで，今後のi-Construction普及に向け一歩先をゆく活動で貢献していきたい。

4　UAV技術WGの取り組みと安全運航

i-Constructionは，ICT技術の全面的な活用によって，建設現場の生産性向上を目指しており，UAVによる3次元測量は，設計や情報化施工に用いる地形データの取得，土工事の施工管理の場面で活用が期待されている。UAVは，この他にも橋梁などの社会インフラ施設の点検等に利用されており，公共事業のあらゆる場面（調査～設計～施工～維持管理）での活用が期待される技術である。

測技協では，UAVと搭載センサ等の技術動向，計測方法と解析技術，応用分野等を研究することを目的として，2014年度に「UAV技術WG」を設置，活動しており，安全運航のための留意点，利活用の事例，課題と対策等の活動成果を技術発表会，地方での講演会等を通じて外部に発信するとともにUAVを利用した測量調査に関する研究に継続的に取り組んでいる。

また，i-Constructionの実現に向けて15の基準が国土交通省から発表されているが，前述のように「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」，「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）」の作成にあたっては，委員会に参画し精度検証や運航管理体制等々について議論させていただいた。

これらの基準，マニュアル等が整備されたこともあり，今後は公共事業において，UAVを使用する機会が増えるものと思われる。これにより，新たな知見や課題が生まれ，技術開発が一層進む

ことが期待できるが，一方では運航の機会が増えることによって，UAVの安全運航が課題となることから，（一社）全国測量設計業協会連合会，（公社）日本測量協会，測技協の三団体の共催で「測量調査分野におけるUASの安全運航に関する講習会」を４月26日に開催し，多くの関係者に受講いただいている。

また，**表―１**に示すように，政府主催の「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」「小型無人機の更なる安全確保のための制度設計に関する分科会」には，測量業界を代表して参画し，災害調査や測量調査における安全確保の課題等について議論しているところである。

４月に開催された第４回協議会では，「利活用と技術開発のロードマップと制度設計に関する論点整理（案）」について中間とりまとめがなされ，測量分野のロードマップは，i-Construction等で小型無人機を公共測量，工事測量で順次導入し，UAVを用いた測量で使用する測量機器の拡充（レーザ等），高度化，軽量化に関わる技術開発，マニュアル等の周知啓発，内容の拡充等々を進めつつ，2018年以降には利活用の推進，更なる高度化を目指す内容となっている。

今後も測技協として，i-Constructionの実現とUAVを使用した測量調査の健全な発展に貢献するため，i-Constructionにおいて運用される基準，マニュアル等の精度検証，UAVによる３次元測量データの応用分野等について，自主的な研究に取り組むとともに，継続的な安全運航の啓発に努める所存である。

5 取り組み事例の紹介

⑴ MMSによる土工出来形計測（朝日航洋株式会社）

① はじめに

土工事の管理では，切土・盛土の土量や移動先・移動量を把握するために，出来形計測により地形変化を定期的に計測する必要がある。出来形計測方法としては，従来用いられてきたトータルステーション（以下，「TS」）やリアルタイムキネマティックGPS（以下，「RTK-GPS」）による方法や，最近ではUAVによる多視点写真を用いた方法がある。しかしながら，数十haにも及ぶ大規模造成工事現場では，これらの方法では出来形計測に多くの労力と日数を要するため，作業の効率化が課題とされていた。

② 特　徴

MMSによる出来形計測は，刻々と変化する現地地形をMMSに搭載されたレーザスキャナにより３次元点群データとして取得し，工事の進捗状況や設計図との相違を迅速に把握できるようしたものである。

これまでMMSは，主に，道路及び道路付属物（標識など）の３次元形状データの取得や，道路台帳附図などの地図作成に利用されてきた。建設現場で定期的に繰り返し実施する土工出来形計測にMMSを適用するには，①適正な計測範囲設定や計測方法を定めたルールがない，②土量計算に使う３次元点群データの作成コストが必ずしも低くないこと，③土工管理に必要な３次元点群データの精度確保等の課題があった。そこで，朝日航洋と安藤ハザマは，以下の現地計測方法等の策定とデータ処理システムを共同開発し，実証を行った。

１）計測データの精度確保の仕組みの策定

計測車両が，計測対象の範囲に応じて無駄なく走行し，必要な精度を確保できるよう，測量基準点・検証点の設置ルールを定めた。また，計測したデータの品質確保のため，２段階で品質を確認するための仕組みを設けた。なお，こ

の仕組みは国土地理院「移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル（案）」にも準拠している。

2）データ処理システムの開発

計測データに含まれる不要物の除去，地形の特徴を損なわない大容量の３次元点群データの間引き，複数の計測データの合成の３つの技術を統合した高速３次元点群処理システムを開発した。

3）マニュアルの整備

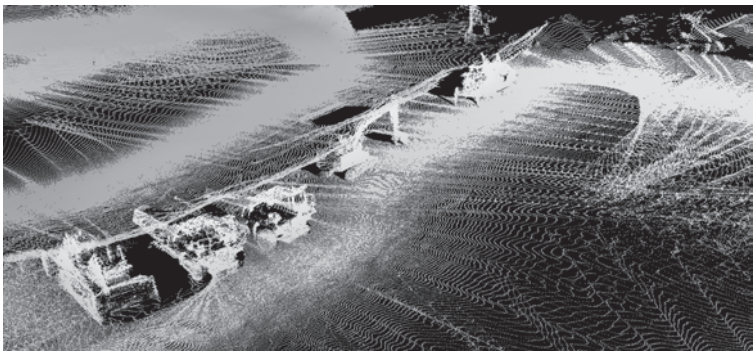
上記の開発内容を踏まえ，工事現場の管理者が適切にMMSによる３次元点群データを取得できるように，準備，計画，実施，データ処理に至るまでの手順と作業内容を記したマニュアルを作成した。

③　実証結果

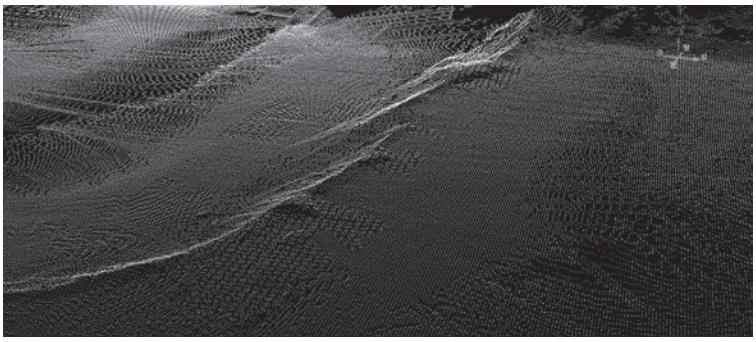
安藤ハザマが施工中の面積約40haの造成工事現場を対象に実証を行った。図―３は，MMSが計測対象となる造成工事現場を走行しながら計測している様子である。図―４は，MMSが計測計画に従って複数コースを走行して取得した３次元点群データを合成したDSM（Digital Surface Model）である。図―５は，開発したデータ処理システムを用いて建設機械等を除去し，地形の特徴を損なうことなくデータを間引き，さらに点群密度を均一にしてデータを軽量化したDTM（Digital Terrain Model）である。

図―３　MMSによる工事現場の計測

実証の結果，MMSを用いることでTSやRTK-GPSによる従来の方法に比べて，現地作業からデータ処理・作図に要する作業時間を約1/8まで減少できた。３次元点群データの精度については，水平方向±２～３cm，標高値±５cm程度の結果となり，RTK-GPS測量に相当する精度であることが確認できた。



図―４　３次元点群データ（DSM）



図―５　３次元点群データ（DTM）

⑵　UAVによるi-Constructionに向けた３次元点群の取得と精度検証（アジア航測株式会社）

アジア航測（株）は，国土交通省国土技術政策総合研究所の協力のもと，全国の道路及び河川施工現場においてUAVを用いた３次元点群の取得と精度検証を行った。以下にUAVを用いた出来形管理に向けた取り組み事例を紹介する。

①　試験概要

UAV出来形計測における適切な手法を検討するための要素試験を行い，その後，検討された手法を用いて全国９地域で実用試験を行った。要素試験では，対地高度，撮影方向，標定点数等の各要素の組み合わせのパターンを設定し，SfMソフトを用いて３次元点群を作成して，精度検証を行った。実用試験で使用するカメラのセンササイズはフルサイズもしくはAPS-Cとし，UAVはこのようなカメラを搭載できるマルチコプターとした。撮影は垂直写真を基本とし，地形条件に応じて斜め写真も撮影した。実用試験での撮影・解析条件を表―２に示す。

表―２　撮影・解析条件

項目	撮影条件
地上画素寸法	10mm程度
写真重複率	オーバーラップ：80％ サイドラップ：60％
標定点配置数	４隅+中央の５点*
*200m四方を想定した場合の点数	

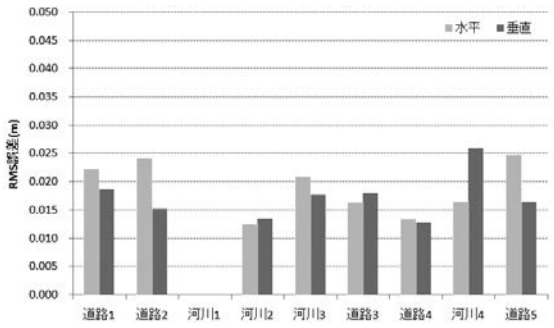
②　実用試験における精度検証

実用試験の精度検証結果を図―６，図―７に示す。検証点におけるRMS誤差は水平・垂直ともに３cm以内であった。

③　TSによる出来形計測結果との比較

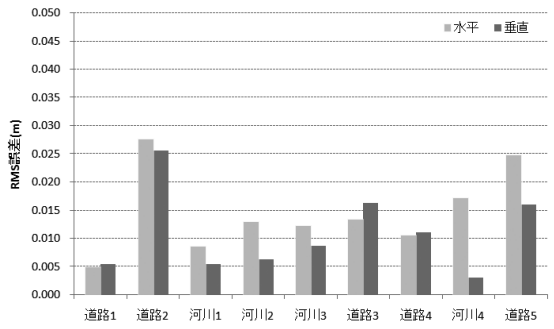
各地域でTSによる出来形計測も同時に行われた。そこでUAV―３次元点群から作成したDSMから，TS座標値から作成したDSMを差し引いた差分図を作成した。図―８に差分図の一例を示す。全体として概ね±５cm以内である。

④　まとめ

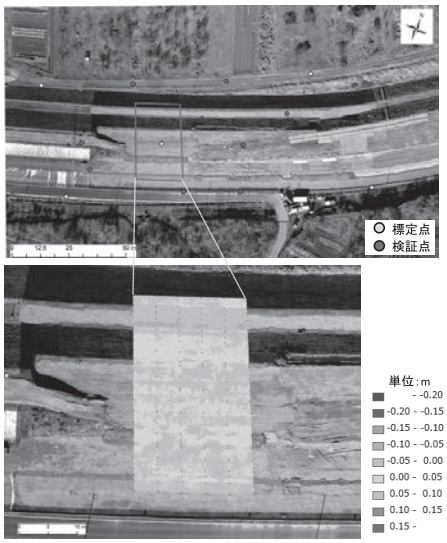


図―６　検証点におけるRMS誤差

※河川１においては，検証点が１点のみのため，検証点RMS誤差は算出していない



図―７　標定点におけるRMS誤差



図―８　UAV－TS差分図　（河川３の事例）

様々な条件下で取得したデータを統一した手法で解析して精度検証を行った結果，標定精度は検証点とのRMS誤差で３cm以内に安定して収っていることを確認した。

解析にあたり国土技術政策総合研究所よりTSデータをご提供いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

⑶ UAV 3 次元測量におけるi-Constructionへの適用に向けた精度検証
（国際航業株式会社）

① はじめに

UAVを公共測量や土工事の出来形管理に利用するためのマニュアルが整備され，社会的に活用する準備が進んできている。UAVにより取得された複数の写真からXYZの 3 次元位置情報のデータ（以下，「 3 次元点群データ」）を生成するSfM技術に関しても，その特徴を整理し，利用環境を理解する必要がある。

そこで，SfMソフトにおいて安定した精度を出すための撮影方法と基準点配置を検証するために，今回は裸地において地上基準点と検証点を設置し，算出した 3 次元点群データの定量的な精度検証を実施した。

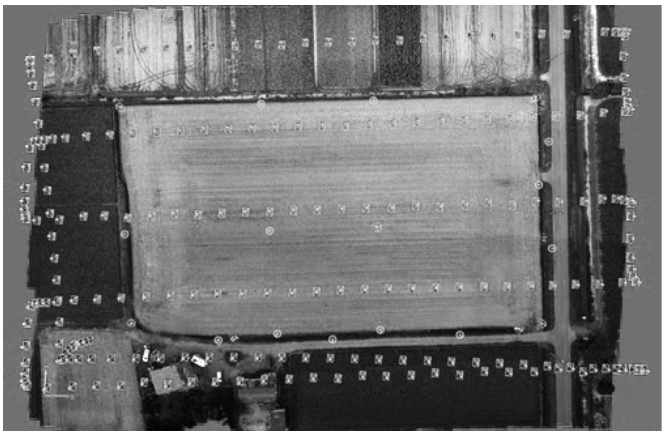
② 検証方法と使用機材

UAVの最大の特徴は，事前に作成した飛行計画（フライトプラン）通りに自律航法機能を用いて飛行し，定められた空間位置において撮影を行えることである。今回は，単独測位法による空間位置（GNSSで観測されたX, Y, Zのみ利用）を既知点とした写真標定計算は行わず，予めVRS（Virtual Reference Station）－GPSにより観測した標定点を用いて解析を行った。使用したUAVはマルチコプタータイプで，デジタルカメラはDMC-GX 7（パナソニック製）を用いた。実験フィールドは，北海道の圃場（165m×92m）を借用して検証を行った。また，圃場内外に設置された検証点（対空標識や暗渠管のトップ）をVRS-GPSで観測し検証データとしている。

③ 精度検証

今回，撮影高度を50mに設定し飛行を行った。カメラのレンズは実焦点距離14mmの固定焦点レンズを用いた。地上分解能は15.2mmとなる。撮影枚数は226枚で撮影コースは 5 コース（計測対象エリア全ての地点で 5 枚以上の写真が重なる）とした（図―**9**）。

1）写真標定計算の精度検証



図―**9** 写真標定点と基準点配置

圃場の四隅に設置された外部標定点 4 点と圃場の真ん中に設置した内部標定点 1 点（いずれも図―**9** の丸印）を用いて，写真標定計算をセルフキャリブレーション付バンドル調整法で行った。結果として標準偏差でX残差=1.9mm，Y残差=2.7mm，Z残差=1.7mmとなった。

2）検証点の精度検証

圃場周辺と内部に設置された標識検証点12点と暗渠管上部の検証点 8 点において，現地のVRS-GPS観測値と比較検証を行った。標準偏差として，標識検証点はX残差=8.3mm，Y残差=11.6mm，Z残差=15.7mmとなり，暗渠管上部検証点はX残差=10.4mm，Y残差=11.7mm，Z残差=23.1mmとなった。

④ まとめ

今回の検証で，標準偏差でXY方向の残差は 1 cm前後に収められており，高さ方向は2.3cmとなっている。標準偏差（1 σ）であることを考慮すれば，全ての点の残差が最大で2.3cmの倍数の4.6cm以内であると考えられ，実運用として公共測量並びに出来形計測に用いることが可能と考える。

また，撮影した写真の地上画像寸法は1.52cmであり，このレベルでもi-Construction規定以内の計測が可能であった。実際の業務においては，計測対象に高低差がある程度存在すると考えられるが，今回の検証結果から撮影基準面をある平均標高面に設定し，画素寸法で±サブピクセル程度に相当する高度差を許容範囲として設けて撮影をしてもよいのではと考えている。今後，更に検証

等を行いたい。

⑤　今後の展開

当社は，３次元データを活用するi-Constructionへの取り組みの本格化に向けて，正確な３次元データを得るためのUAVの運航方法や計測方法を習得できるスクールを開講した。更に，UAVで撮影した大量の画像から，クラウド環境で簡単に３次元データが作成できるサービスの提供を予定している。これらを通して，安心安全な社会インフラづくりに貢献していきたいと考えている。

⑷　i-Constructionで有効なUAVを用いた３次元点群データの取得及び解析（株式会社パスコ）

①　はじめに

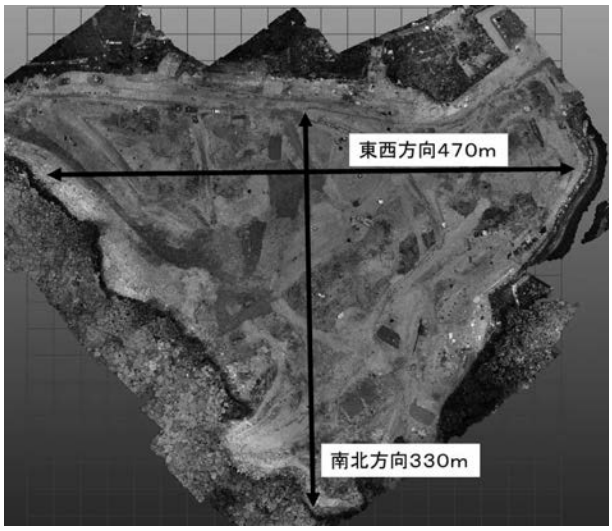
従来のICT土工測量では，TSやGNSS，地上型レーザースキャナにより３次元点群データが取得されていた。一方，UAVの低価格化と飛行安定性の向上により，UAVによる空中写真測量が可能となってきた。こうした状況のもと，多数の重機が稼働する危険の多い造成作業現場における，UAV空中写真撮影による現場作業員の安全性の確保，測量機械経費の軽減，生産性の向上を目指した取り組みが始まった。株式会社パスコは，株式会社奥村組の協力のもと，工事進捗管理へのUAV適応実証実験を2014年度から2015年度にかけて実施した。本稿では，地形の変化が大きい粗造成段階におけるi-Constructionの取り組み事例を紹介する。

②　実証実験場所

図―10は奥村組の造成現場（約200,000m^2）の全体図である。観測対象地域は東西方向470m，南北方向330mで造成段階である。この施工現場上空をUAVの飛行高度を変更し，午前10時と午後12時半に２回の撮影を行った。また，３次元データの位置合わせとデータの位置精度検証のために，基準点を合計12点配置し，VRS-GPS測量による観測を行った。なお，本実証実験は，国土交通省からi-Constructionが発表される前であったために，造成工事現場での進捗管理に必要な要求精度を10cm以内とし，撮影計画を立案した。安全飛行の取り組みに関しては，作業現場にて作業監督者１名，操縦者１名，モニター監視者１名，保安員数名を作業範囲内に適切に配置して全体の監視を行い，安全を確保した。なお，使用機器等は表―３に示すとおりである。

③　データ解析例

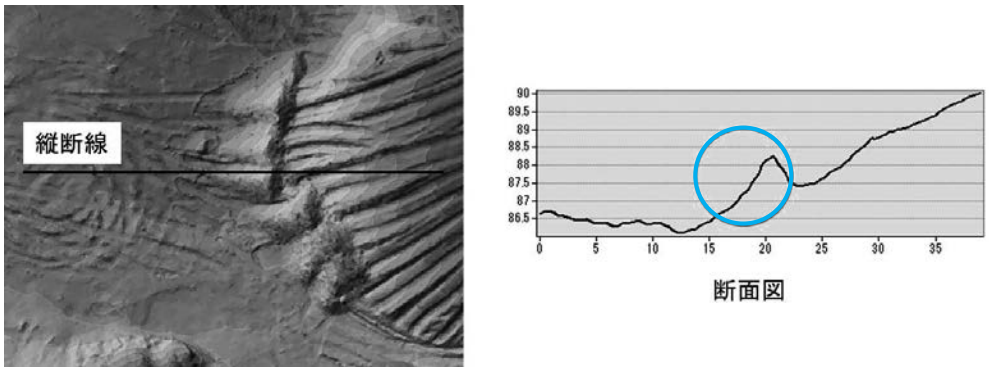
抽出した標高データから二時期の比較を行った。



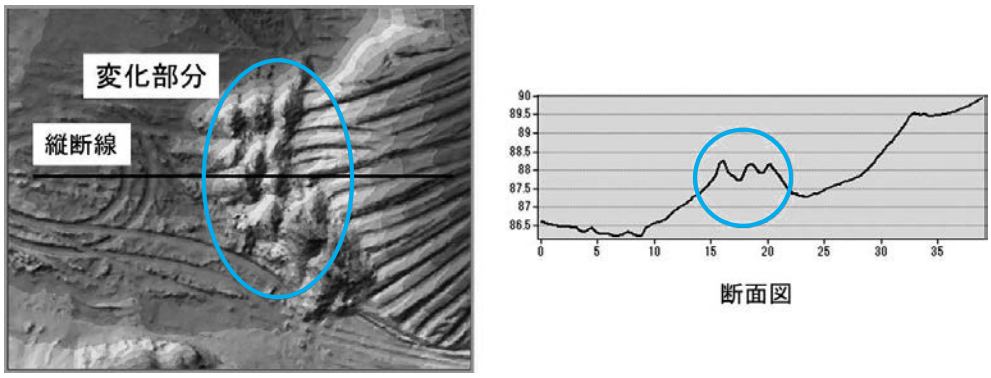
図―10　施工現場全体図

表―３　使用機器等

UAV機器	DJI S800 EVO
カメラ	CANON EOS M ミラーレス一眼 1,800万画素
所要時間	高度60m：約1.5時間 高度100m：約30分
撮影枚数	高度60m：682枚 高度100m：418枚
標定点数	12点



図―11　差分抽出図（1回目）



図―12　差分抽出図（2回目）

図―11は1回目の撮影成果によるもの，図―12は2回目の撮影成果によるものである。断面図において標高の微妙な変化が読み取れる。

④　まとめ

今後，測量（調査）⇒設計（計画）⇒施工⇒検査を行う上で，i-Constructionの取り組みによるICTを活用した生産性向上が重要である。調査時の測量と検査時の測量の精度が平準化されて精度が担保されれば，施工時における正確な土量の管理ができるようになり，その結果，施工の効率化を図ることが可能となる。また，検査時には検査の効率化が図られるようになる。昨年度まで継続して行った計測では，標定点の設置場所，カメラ，レンズの改良により，精度は最大5cm以内を保持している。以上のことから，UAVを利用した写真測量技術が，ICT技術の標準化に重要な役割を果たすものと考える。

6　おわりに

今後，i-Constructionは実務適用の段階に入っていくが，測技協は測量技術をリードする団体として，実務場面での技術改良や適用事例の蓄積等に取り組んでいく所存である。引き続きご指導いただければ幸いである。