

中部縦貫道（松本波田道路）における三次元測量の活用事例について

山下 泰生

関東地方整備局 長野国道事務所 計画課 (〒380-0902 長野県長野市鶴賀字中堰145)

近年の道路の設計においてはCIM活用による社会資本整備の調査から管理にいたる一連のプロセスのシームレス化が進められており、設計に必要な地形データの取得にあたっては、従来、トータルステーションやGNSS測量機器による二次元データからUAV（無人航空機）等を活用した三次元データの取得が普及しはじめているところ。

本事例では、中部縦貫自動車道（松本波田道路）の設計にあたり、測量の現地作業の効率化を図るとともに、取得した三次元地形データの構造物設計への活用などを目的としてUAV等を用いた三次元測量を実施したもの。

キーワード CIM UAV MMS 地上レーザスキャナ

1. 三次元測量とは

従来の測量においては、トータルステーションやGNSS測量機器を用いて、現地の地形・地物を測定し、二次元的に地形図をデータ化していた。三次元測量では、地形や地物といった計測対象物の高さ情報を専用機器UAV・MMS・地上レーザスキャナ等によって三次元的に計測する測量方法で、面的な三次元としての点群座標が取得できる測量技術である。

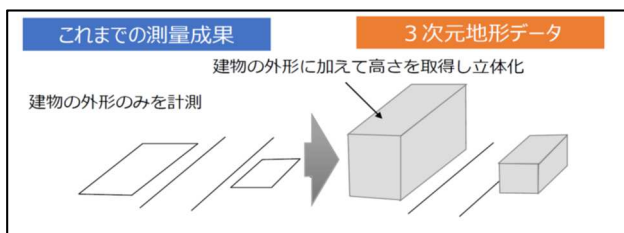


図-1 3Dモデル説明図

ここで、UAV、MMS、地上レーザスキャナについて説明をする。

UAVとは、空中から地形・地物の標高を計測する技術で、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、レーザ光の照射方向と地上までの距離を計測するものである。計測データの解析により、XYZ座

標をもった三次元点群データを得ることができる。

MMSとは、自車位置姿勢データ取得装置により車両の位置・姿勢及び搭載されたレーザ測距装置により周辺地物を異動して取得するとともに、デジタルカメラの連続撮影により、三次元データの取得範囲の画像を同時に取得することができる。

地上レーザスキャナとは、計測対象に触れることなく地形や構造物の三次元データを取得可能な方法。トータルステーションと同様に、光波測距離儀と測角機器を用いて、距離と角度を計測する。1秒間に数千～数万点の情報を取得することが可能。面的な点群データを高密度・広範囲に短時間で取得できる。



図-2 UAV及びMMS

2. 松本波田道路の概要

長野県松本市から福井県福井市までをつなぐ中部縦貫道163kmのうちの起点側松本市島立地区から終点側松本市波田地区までをつなぐ5.3kmの地域高規格道路である。地形としては、長野自動車道を離れると田園風景が広がっており、高層建築物が少ない地形となっている。

3. 現地状況を踏まえた測量調査

当該箇所においてはJCTを含む設計のため、長野自動車道をまたぐ測量が必要である。また、10ha以上に及ぶ広範囲の測量に対して、JCTという複雑な設計のため、精度の高い測量が必要である。

従来のトータルステーションなどの二次元測量で高規格道路を測量する場合、高規格道路を片側規制する手続きや盛り土の法面である急傾斜地に機器を設置しなければならないため、過大な労力、時間、試行段階の危険性、手続きなどが必要になってくる。

このような状況及び将来のCIM活用を考慮し、UAV、MMS（モービルマッピングシステム）、地上レーザスキャナを組み合わせた三次元による測量実施について検討した。

UAV測量の実施に当たっては、

- (A) 空港等の周辺（進入表面等）の上空の空域
- (B) 高さ150m以上の高さの空域
- (C) 人口集中地区の上空

の上記3つについては地方航空局長の許可が必要となる。（図-6参照）

当該測量箇所においては、南側に松本空港が位置し、東側には松本市内の人口集中地区が存在している。航空局と協議を行い測量範囲と空域について確認を行いUAVの実施について問題がないことを確認した。高速道路周辺については、高速道路自体一般的に人の立入りが不可能でありUAV使用に際し落下による重大事故を防ぎ、走行車両と人の接触防止が図られ、安全かつ短時間で点群データが取得可能なMMS（最低速度で測量可能）を実施することが最良と判断し、道路管理者（NEXCO）及び道路管理者（警察）と協議を行い了解が得られたことからJCT周辺の測量手法として採用した。

田んぼの畦や構造物、草木などにより上空から確認しづらい箇所については地上レーザスキャナによる補足測量を実施することとした。

以上、3つの方法による測量を組み合わせることでJCT部の測量を実施していくこととした。

また、松本波田道路の終点側において測量業務と同時に橋梁設計が進められていた。そこで測量業者、設計業



図-3 中部縦貫自動車道全体図



図-4 松本波田道路位置図

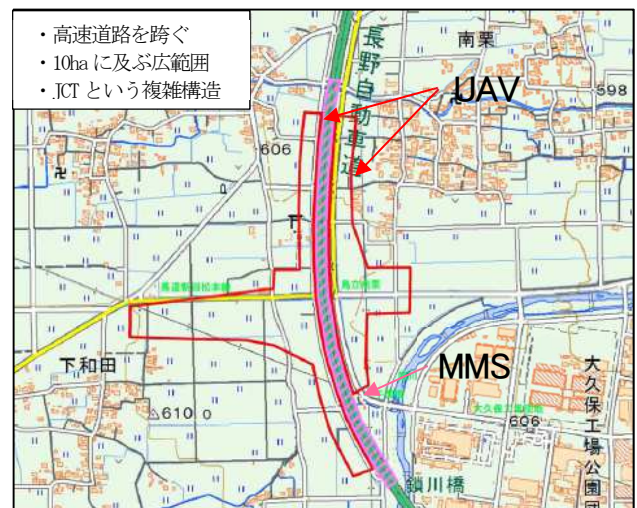


図-5 松本JCTの測量範囲と課題

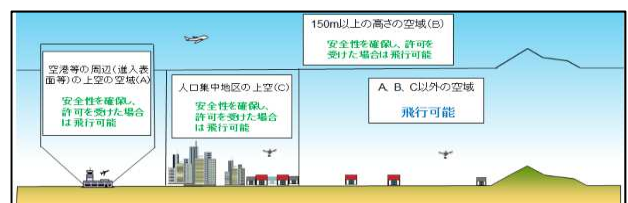


図-6 現地の状況

者、発注者の三者が協議を行い、CIM活用に有効的な測量方法及び測量範囲を決定し、地上レーザスキャナを用いた橋梁設計部及びその周辺の測量を行うこととした。測量結果を用いて施工段階を見据えたCIMモデルの構築及び効率的な活用について取り組んだ。

4. 測量の実施

JCT部のUAVについては、安全面を考慮し比較的交通量が少ない土曜日の早朝に実施した。飛行中は操縦者の目視がきる範囲を事前にプログラムしたコースを飛行した。あわせて、飛行状況をモニター及びPCにより常時確認するとともに、飛行コースの下には人員を配備し非常時に対応できる体制で行った。その結果、10haを超える広範囲を3時間程度で測量を完了することができた。

MMSについては、通常、MMS測量後に調整用基準点や、特徴点をトータルステーションなどのより実施し、精度の検証を行うが、今回は高速道路の測量ということで、基準点の設置はもとより作業員の進入も不可能であり、防護柵外の実測データとMMSにより取得した三次元点群データを合成し、異常な不連続が生じていないかの精度確認を行い異常がないことを確認した。

JCT部の地上レーザスキャナは補足測量であったため、高速道路の法面や上空のレーダでは反射してしまう田んぼ周辺など範囲は限定的であったため短期間で測量が完了した。

橋梁部の地上レーザスキャナ測量においても測量業者、設計業者、発注者の3者が密に協議を行い手戻りなく、設計のスケジュールに影響なく精度の高い測量を実施することができた。

5. 三次元測量の課題

今回、三次元測量の実施を行ったが、特にUAVについてはまだまだ課題が多いのが現実である。

UAVはマルチパスの影響を受けやすく、三次元点群データの要求精度(±5cm)を満たすためには補足測量が必要となってくる。

また、安全面でのリスク管理が必要となる。2017年及び2018年の2年間で報告されて無人航空機に係る事故等は70件(2017年62件、2018年8件)。

報告された原因は以下がある。

- ・操縦者のスキル不足
- ・電波障害
- ・機体不具合
- ・天候
- ・自動帰還機能の設定ミス

今回の測量においても、万が一のことを考慮し、交通量の少ない土曜日の早朝の時間帯で人員も多く配備して行った。この点を改善できれば、さらに有効的な測量方法になっていくと考える。今後、UAVを活用していくに際し対策を進めていく必要がある。

MMSについては安全かつ短時間で比較的精度の高い測量結果が得られた。

地上レーザスキャナは基本的にどんな場所でも対応可能だが、他機に比べると測量範囲も狭くデータ数が多く編集に労力が必要となった。

このようにそれぞれの精度や特徴を把握した実施が必要となる。

一方、三次元測量と従来の路線測量でコストの比較を行うと図-7のように従来の測量コストと変わらないことがわかる。しかし、実際に今回の作業としては通常、数ヶ月から半年程度かかることを準備期間含め、現場作業時間は1週間程度であった。

今後このような課題を解決していくことで、更に三次元測量が有効的に活用できることが予想される。

従来の路線測量		三次元測量	
作業計画	89,560	作業計画(MMS)	176,700
現地調査	401,865	移動取得及びデータ処理	2,111,032
線形決定	597,180	敷地図画化	903,992
IP設置	704,360	作業計画(UAV)	143,500
中心線測量	2,341,314	調整用基準点設置	483,290
仮BM設置測量	602,002	UAVレーザー計測	2,864,240
経断測量	1,118,790	最適軌跡解析	1,157,800
横断測量	4,530,649	オリジナルデータの作成	1,008,270
合計	10,385,720	縦横断面図データファイル作成	842,670
		補足編集	666,770
		精度管理費	400,686
		合計	10,668,000

図-7 二次元測量と三次元測量のコスト比較

6. 設計への反映

今回の成果より、三次元測量結果と橋梁モデルを統合（図-8）した結果、立体的な施工計画の立案などCIMの導入を図ることができた。具体的な活用を以下に記述する。

○施工ステップのモデル化及び合意形成の効率化に寄与（図-9）

CIM活用の設計成果と組み合わせることによって、施工計画の主要なステップについて、施工機械及び仮設構造物を三次元モデル化し、作業ヤード及び施行機械の配置計画を反映したモデルを作成。

作成したモデルに時間及び費用を属性付けし5Dの施工シミュレーション（時間、費用、施工方法等）を作成した。

更にCIMモデルを用いて、本線道路や周辺施設へのアクセスルートにおける走行シミュレーション動画、任意地点からの眺望画像、施工時における360°VR動画、橋梁塗装色比較画像等を作成、施工段階や住民への計画説明時等の合意形成の効率化を期待できる。

○三次元モデル化による周辺構造物との離隔・干渉チェック（図-10）

周辺構造物との取り合い、設計のコントロールポイントとなる道路の建築限界確保の確認や周辺構造物からの離隔の確認、施工時に干渉する電柱等があることが確認できた。

7. おわりに

今回の取り組みは、従来の測量作業に対し現地作業時間が大幅に短縮され、精度の高い三次元地形データを取得するなど、生産性の向上を図ることができた。

また、設計においては、5Dシミュレーションによる周辺構造物との離隔・干渉チェックなど、設計段階での施工上の問題点の抽出や説明資料の向上など、作業の効率化、施工段階を踏まえた手戻りの削減などメリットが多い。

MMSについては、安全で精度の高い測量結果を得た。

一方でUAVについては、安全面の向上、作業負担の軽減など解決していかなければならない課題もあった。

今回の活用を踏まえ、三次元測量の更なる活用として、現場条件の厳しい場所での活用拡大、橋梁以外の道路構造への積極的な活用、維持管理を見据えたモデル構築等が考えられるが、その基礎データとして三次元測量で得られるデータの更なる精度向上、安全面のリスク軽減、



図-8 点群データと橋梁モデルの統合データ

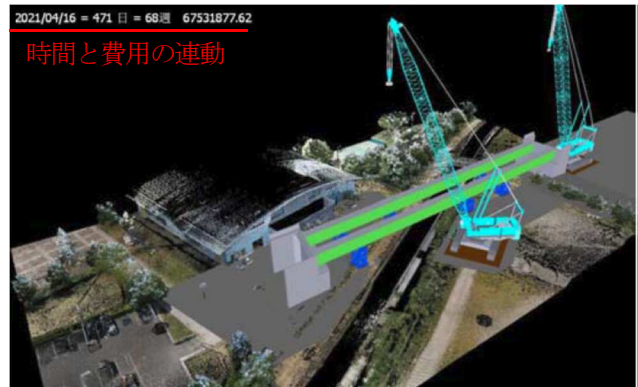


図-9 5Dシミュレーションモデル

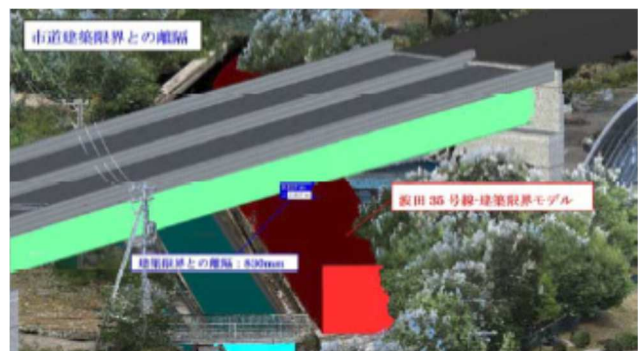


図-10 建築限界確認

コスト抑制を図った上で、3次元モデルの作成・活用の効率化を図っていくことを模索してまいりたい。

参考文献

- 1) 関東地方整備局ホームページ
- 2) 国土交通省ホームページ
- 3) MMSを用いた河川管理への利活用検討 三輪尚子
- 4) 3次元レーザスキャナを搭載したUAVによる地形測量について 重岡 知之