

北近畿豊岡自動車道における 3次元地形測量の取り組みについて

野瀬井 雅徳

近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 計画課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

今後、我が国において生産年齢人口が減少することが予想されている中、建設分野において、生産性向上は避けられない課題であり、国土交通省として建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す新しい取組であるi-Constructionを推進している。

豊岡河川国道事務所はi-Constructionを先導するモデル事務所に指定されており、調査・設計から維持管理まで3次元データを活用して事業の効率化を目指す中で、3次元地形測量の取り組み事例を紹介する。

キーワード 3次元地形測量 3次元地形モデル UAV BIM/CIM

1. はじめに

(1) 全国的な取り組み

建設業界は、我が国の人口減少に伴う高齢化の進展により、労働力の大幅な減少が懸念されるとともに、休日や職務内容などの労働環境も他産業に比べ厳しく、若手が入職・定着しづらい状況にある。

このような建設業界の現状を踏まえ、国土交通省では労働者の減少を上回る生産性向上を目的とした生産性革命を行う『i-Construction』の取り組みとして、ICT施工や施工時期の平準化、令和5年度にはBIM/CIM本格運用を目指しており、表1のように一般土木・鋼橋上部にて小規模を除くすべての公共工事におけるBIM/CIM原則適用を掲げています。令和2年度は「3次元モデル成果物作成要領(案)」が策定され、今後は本要領に基づく詳細設計での適用が必要となる。

表1 BIM/CIM原則適用拡大の進め方(案)

	R2	R3	R4	R5
大規模構造物	(全ての詳細設計・工事で活用)	全ての詳細設計で原則適用(※) (R2「全ての詳細設計」に係る工事で活用)	全ての詳細設計・工事で原則適用	全ての詳細設計・工事で原則適用
上記以外 (小規模を除く)	—	一部の詳細設計で適用(※)	全ての詳細設計で原則適用(※)	全ての詳細設計・工事で原則適用
		R3「一部の詳細設計」に係る工事で活用		

(2) 豊岡河川国道事務所の取り組み

豊岡河川国道事務所は、平成31年3月に決定したi-Constructionモデル事務所(以下、「モデル事務所」という)(全国10事務所)であり、業界内におけるBIM/CIM技術の拡大・利活用を先導している。

現在、当事務所の設計段階にある北近畿豊岡自動車道

豊岡道路Ⅱ期(以下「豊岡道路Ⅱ期」という)では、今後の設計・施工・維持管理段階に活用できるBIM/CIMモデルを作成し、事業の品質向上・効率化を図ることを目的として検討を進めており、本稿ではICT技術の全面的な活用にあたり、3次元地形測量から設計への活用事例を報告する。(図1)



図1

2. 測量

(1) 3次元地形測量

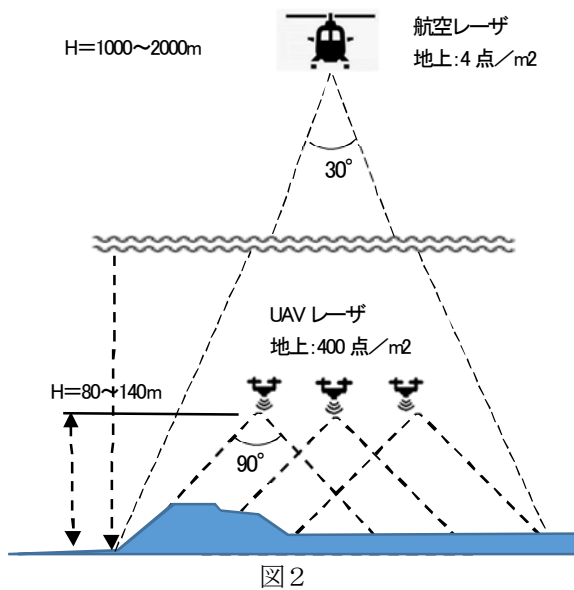
豊岡道路Ⅱ期の地形測量ではBIM/CIM対応の新手法で、道路予備や詳細設計に対応できる3次元地形図を作成するため、UAVを用いたレーザ測量を基本に地形測量を実施している。

なお、豊岡道路Ⅱ期の近くには但馬コウノトリ空港による飛行制限区域が存在するが、協議にてUAV測量の飛

行区域は空港の飛行制限面より下であることを確認し、今回の測量については支障がないことを確認している。

ちなみに従来の地形測量は航空レーザ測量にて実施していたが、高高度からのレーザ照射となるため1回の飛行コースで広範囲の測量が可能で、レベル500では4点/m²、レベル1000では1点/m²以上となるようレーザを照射し、地形データを取得している。

一方、UAVを用いたレーザ測量では飛行高度が低く、地表面に近いことから、1回の飛行コースで狭い範囲の測量となるが、高密度の地形データを取得することが可能であり、今回のUAVレーザ測量ではレベル500に対応した400点/m²となるようレーザを照射し、地形データを取得している。(図2)



豊岡道路Ⅱ期のルートは大部分が山間部(図3)である。山間部では照射したレーザが樹木や葉により阻害されやすく、山の傾斜が厳しい箇所では照射したレーザと地表面の角度が小さくなり、取得できる地表データの密度が粗くなる。そこでUAVの飛行コースをラップさせたり、飛行方向を変える(図4図5)ことにより、レーザの入射角、方向が複数となることで確実に地形データを取得し、図6のように厳密な地形図を作成することができる。



図3

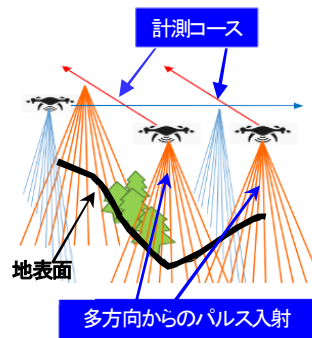


図4



図5

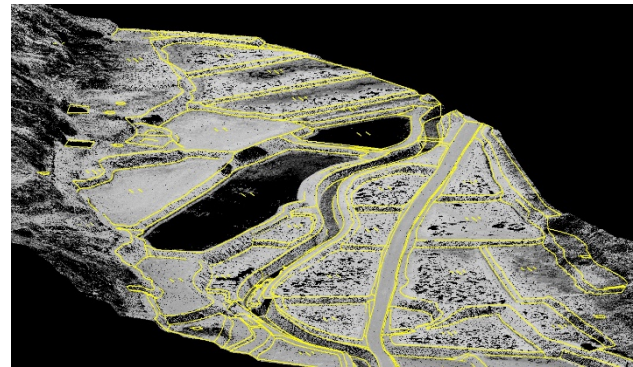


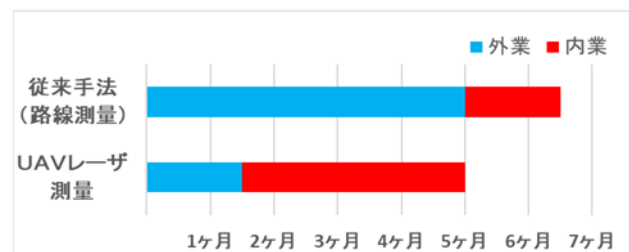
図6

(2) 縦横断面図作成

地形測量が完成した後、縦断面図、横断面図を作成する工程になる。従来手法であれば現地に測量作業員が入り、仮B設置、中心線測量、縦断測量、20mピッチの横断測量を実施し、地形測量で作成した平面図と縦横断面図を合わせて予備設計に進むことになる。

一方、UAV等を用いた3次元測量では、図6のように3次元で地形がデータ化されていることから、地形モデルデータを用いて縦断測線・横断測線データで断面生成することが可能である。なお、構造物などの変化点での補備測量は必要となるものの、表2のように外業が多くを占める従来手法と比較して天候に影響されることも少なく、作業日数の短縮、労働環境の改善が図れる。

表2 作業日数の比較



(3) UAVレーザ測量の適用

地形測量については豊岡道路Ⅱ期にて実施したように近年UAVレーザ測量が一般的となっているが、地形や利用環境による制約が存在しており、適用条件について表3、表4に示す。

表3 地形条件

(凡例) ○: 適切 △: 適応可能 ×: 適応困難

地形	UAVレーザ	地上レーザ	MMSレーザ	
平地	市街地	×	△	○
	都市近郊	△	○	△
	耕地	○	△	×
	森林	○	△	×
丘陵地 低山地	市街地	×	△	○
	都市近郊	△	○	△
	耕地	○	△	×
	森林	○	△	×
高山地	森林	○	×	×
備考	森林/低山地、森林/高山地の計測には高高度かつ高密度な計測が可能な機器 (VUX1など) が必用	地上測量であり、現地立ち入りが必要であるため、捕測などの限定範囲の計測に適している	車両に搭載した計測機器であるため、道路からの計測が基本である	

表4 環境条件

(凡例) ○: 適切 △: 適応可能 ×: 適応困難

環境条件	UAVレーザ	地上レーザ	MMSレーザ	
法律	空港周辺の空域など※1	△	○	○
	重要施設の周辺※2	×	○	○
インフラ 施設	送電線	×	○	△
	鉄道	△	△	×
	道路	△	○	○
	港湾施設	△	○	×
その他	高塔 (ラジオ局、等)	△	○	○
	携帯電話アンテナ	△	○	○
	猛禽類の生息	△	○	○
備考	△は対象地域の対象条件により異なる	立ち入りの可否に左右される	道路上からの計測視通がとれることが条件	

※1: 航空法 (昭和27年法律第231号) 第132条第2項第2号の規定による許可及び同法第132条の2第2項第2号の規定
 ※2: 重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律 (平成二十八年法律第九号)

豊岡道路Ⅱ期の大部分は地形や環境の制約を受けない森林、耕地であるため、UAVを用いてレーザ測量を実施している。なお、一部高圧線と交差する箇所 (図7図8) については飛行高度が干渉することから、地上レーザ測量としている。

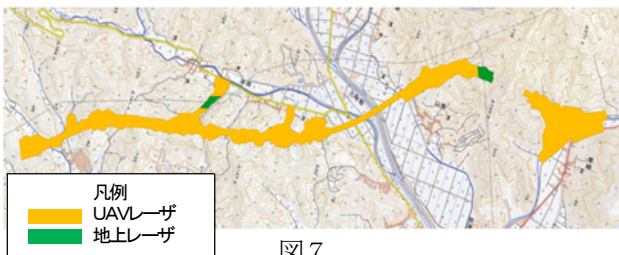


図7

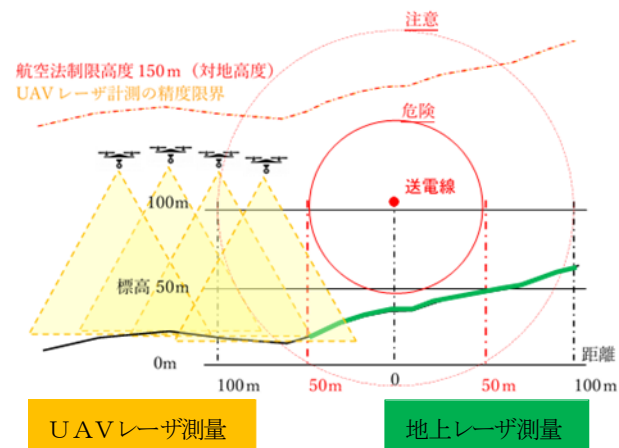


図8

ちなみに豊岡道路Ⅱ期はUAVレーザ測量の適正地域であるが、山地部であるがゆえに猛禽類の攻撃を受けそうになるトラブル (図9) も発生しており、事前に猛禽類の生息や活動エリアを確認しておく必要がある。

この他、市街地や都市近郊においては墜落時の第三者被害リスクからUAVは採用できず、今回用いた地上レーザ (図10) やMMS (車載レーザ) (図11) 等、現地の条件に合わせて3次元地形測量を計画することになる。



図9



図10

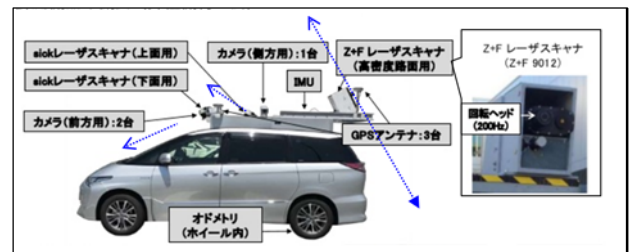


図11

(4) 地質リスク低減に向けた活用

事業の構想・計画段階から地質情報を把握し、計画や設計に反映することは将来的な維持管理段階の地質リスクの低減に繋がるので望ましいことではあるが、事業の開始時点では地質に関わるデータが不足しているため、国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」や地質図Navi、既存文献や地質資料を引用することになる。

ただ近年3次元地形データを用いて微地形解析を行えば、地滑りや崩壊跡、リニアメントなどの判読が容易になることが確認されている。そこで構想・計画段階の初期に3次元地形モデルを作成して微地形解析の結果を活用すれば、より正確な地質情報の把握が可能となり、将来の設計、施工時のリスク低減、また事業完了後の地震や風水害時においても被災リスク、被災規模の低減が期待される。

3. 設計段階における3次元地形測量データの利用

(1) はじめに

道路、河川や構造物の設計においては地形データは最も基礎的な資料であり、その地形データが精度の高いものであれば設計全般における高さ、位置や形状に関する精度も向上することになる。

3次元地形測量は地形データの精度向上はもちろんのこと、それを広範囲に短時間で取得できることが長所として挙げられるが、これは設計段階での早期着手や手戻り防止にも繋がるものである。

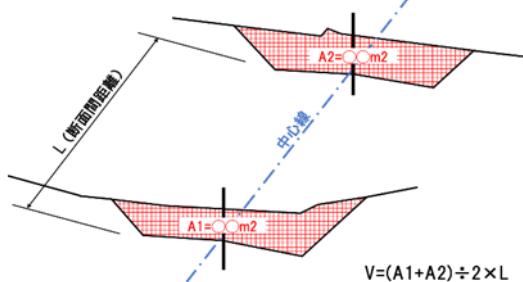
道路設計に関して具体例を説明する。

(2) ルート検討における活用イメージ (道路予備A)

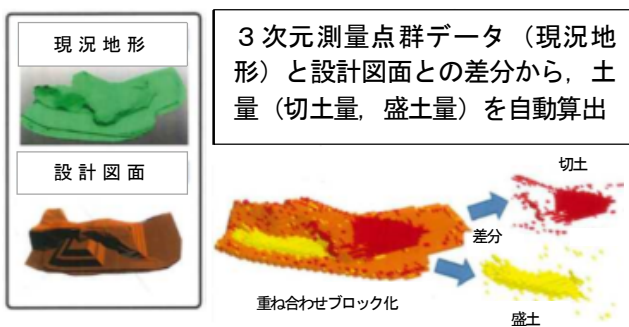
道路のルート検討段階において3次元地形測量データに基づく3次元地形モデルを利用することにより、切土/盛土の土工バランスを容易に把握することが可能となる。そのため平面・縦断線形を変化させた場合に切土量、盛土量がどのように変化するかを簡単に把握することができ、コントロール条件に則した複数のルートを高い精度で、かつ短時間で立案できる。道路設計者側としては複数の選択肢から優れたルートの選定が可能となる。

(従来手法)

平均断面法により施工量を算出



(3次元データを用いた手法)



(3) 幅杭設定における活用イメージ (道路予備B)

道路の平面・縦断線形が決定した後は用地取得範囲を決めるための幅杭設計 (幅杭位置を決定する) を実施するが、その幅杭位置の根拠となる切土や盛土の端部と現地盤が接合する位置を精度良く確認することが可能となる。

従来手法では平面図上、切土や盛土の端部が用地範囲内において収束するよう幅杭を設計しているが、基本的に地形図自体が1~4点/m²の精度で作成されているため、局所的な地形の凹凸は反映されておらず、また平面図 (2次元) と20mピッチの横断面図での幅杭設計となる。この状態で工事を進めていくと施工計画策定時や工事に着手した段階で用地を侵していることが判明し、手戻りや事業進捗に影響が発生する可能性がある。

一方、3次元地形測量データを用いた地形図は精度が高く、また3次的に切土や盛土の端部と現地盤が接合する位置を立体的に確認できることから、より確実な幅杭設計を短時間、効率的に実施することが可能となり、手戻りリスクを回避することができる。

図12は従来手法で設計した区間において、後から3次元地形モデル作成し、設計した図面になる。従来の地形測量で設定した切土、盛土の法片、法尻端部ラインから3次元モデルで作成した切土、盛土の法片、法尻端部ラインが越えていることが確認され、従来の2次元設計の再確認が必要となっている。

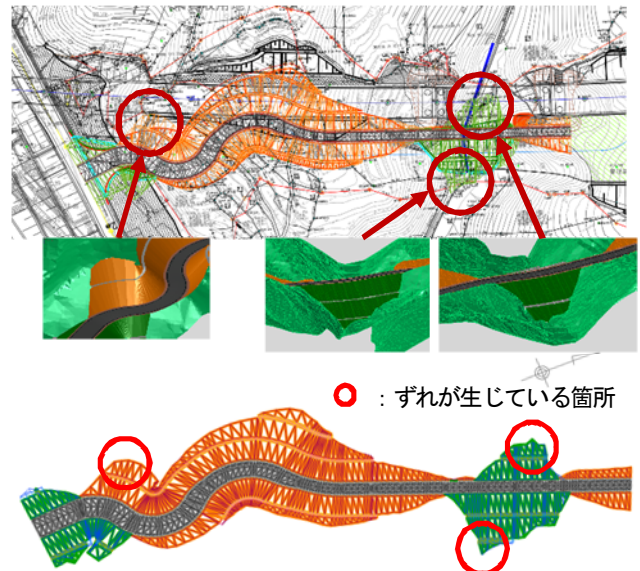


図12

また、トンネルとして計画された区間内で交差する谷地形部において、土被り厚が不足している事が後から発覚し、幅杭設計を実施したうえで用地買収が必要となる場合 (図13) も考えられる。このようなケースも3次元地形測量データに基づいた3次元モデルを用いて設計を行うことで、手戻りを回避することが可能となる。

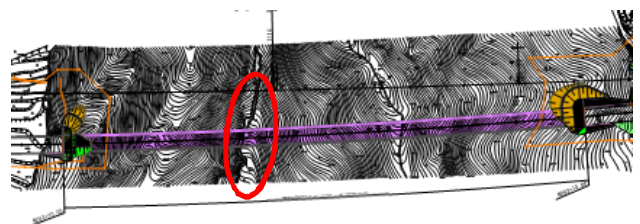


図13-1

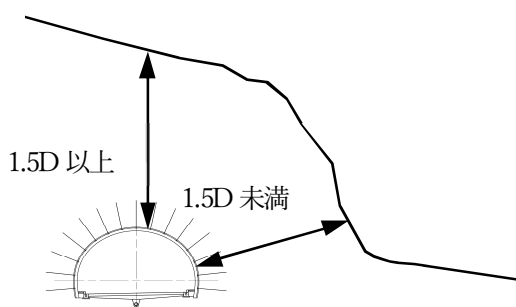


図1 3-2

(4) 構造物設計における活用イメージ

道路設計においては3次元地形モデルに合わせた切土、盛土工形状が再現できることから、法面形状や小構造物の高さ設定などの精度向上に活用できる。

橋梁設計においては橋台施工時の掘削形状や埋戻し後形状の精度が向上し、橋台位置を決定する際の最適な位置決定として活用できる。

またトンネル設計においても坑口位置の設定や、坑口付近の切土、擁壁等の形状についての精度向上に活用でき、図1 4の例では設計当時はBIM/CIM導入前であったため、従来の2次元での設計図面が作成されていたが、その後3次元モデルを作成した結果、トンネルと橋台間の擁壁形状に不整合がある事が確認され、設計内容の照査にも活用することが可能である。

他に図1 4のようにトンネルと橋台が近接する箇所においてはトンネルと橋台のどちらを先行するかにより完成形状や設置位置が変わるため、施工順序を踏まえた設計の精度も向上する。

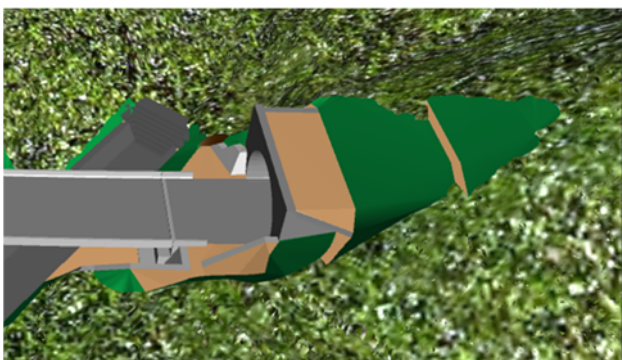


図1 4

4. 3次元地形図作成・活用における課題

(1) 高性能機器

3次元地形図の精度が高いことからデータ量も大きく、高性能PCや周辺機器が必要となる。このハードの問題については時間の経過とともに改善されていくと思われるが、測量会社やコンサルタントにおいてはその投資費用の大きいことが重荷となっている。

(2) 技術者不足

従来から建設業界は人手が不足している中、3次元モデルの作成という新しい分野に従事する人手不足も同様

である。熟練技術者にとって3次元地形測量やそれを用いた設計については新たな分野で、従来作業工種の大幅な減少、そして基礎的な技術から取得する必要がある。

また会社側としても人材を育成する時間と費用が必要となるが、そもそも新たな技術を指導する側も人材が充実しているとは言いがたい状況である。従ってコンサルタント側からは、そもそもやり方、進め方が判らないという意見も聞かれる。

(3) 地質の3次元モデル

3次元地形測量の地形図を用いた道路予備設計、構造物設計への適用事例について説明してきたが、通常の設計の流れでは地質調査も存在する。今回地質調査の3次元モデルについても検討したが、地形測量のようにm2当たり何点のような密度でデータ取得(地質調査)は不可能なことから、従来の推定地質縦断面図、横断面図を3次元に進化させても、不確実な要素を多分に有する推定3次元地質断面図にしかならない。単に推定の範囲が2次元から3次元に広がったものであることから、設計への波及効果は従来手法の域から脱せず、現時点ではあまり効果が見込めなかった。

5. 今後の活用・取り組み

豊岡河川国道事務所はモデル事務所として、設計段階から施工段階、維持管理段階での3次元モデルの活用事例として以下を検討している。

- ・設計段階・・・3次元図面による鉄筋干渉や不整合確認で手戻り防止 数量算出や工程算出、工事費算出の自動化
- ・施工段階・・・出来形や品質管理の省力化 ITC建機への設計データ提供による工事の省力化や効率化
- ・維持管理段階・・・出来形を台帳にリンクさせる事による点検や観測の省力化や効率化

これらの効果は課題で述べた3次元地形図作成時や設計段階における費用や労力の増加を加味しても積極的なフロントローディングと捉える事ができる。そしてその波及効果は建設事業全体としてコストの削減、人手不足の解消策として生産性向上に繋がり、課題を克服するものと期待される。

ただi-Constructionという新たな取り組みの初期時点において、測量会社やコンサルタントに費用や人手の負荷が生じていることは事実であり、官民が協力して情報交換、支援、課題解決に努め、建設業界によりよい効果を波及させるものにしていく必要があると思われる。

謝辞：論文を作成するにあたりご協力いただきました国際航業株式会社(UAVレーザ測量業務)、パシフィックコンサルタンツ株式会社(BIM/CIM活用業務)のご担当者様 また、関係各位に感謝を申し上げます。