複数の計測技術を用いた
高精細三次元地形図データ取得事例

山田　勝輝

近畿地方整備局　奈良国道事務所　調査課　（〒630-8115奈良県奈良市大宮町3-5-11）

事業化区間において詳細な設計を実施していくには、高精度且つ詳細な測量成果が必要となる。測量調査における成果は、事業進捗において重要な基礎資料であり、より正確なデータを得ることで作業の手戻りや現地との差異が減少することに繋がる。しかしながら、現地の様々な地理的要因により、高精度且つ詳細な地形・地物の取得が困難な事例も見受けられる。

本事例では、樹木が生い茂り視通確保が困難である地理的要因に対し、高精度且つ詳細な測量成果を得るために、複数の計測技術で取得したデータを融合することにより高精細な三次元地形図データを作成した事例を紹介する。

キーワード　調査，設計，情報技術

１．はじめに

本事例は２０１１年度より事業化された大阪府奈良県間に位置する香芝柏原改良事業において、道路予備設計を実施していくため地形図作成を行ったものである。

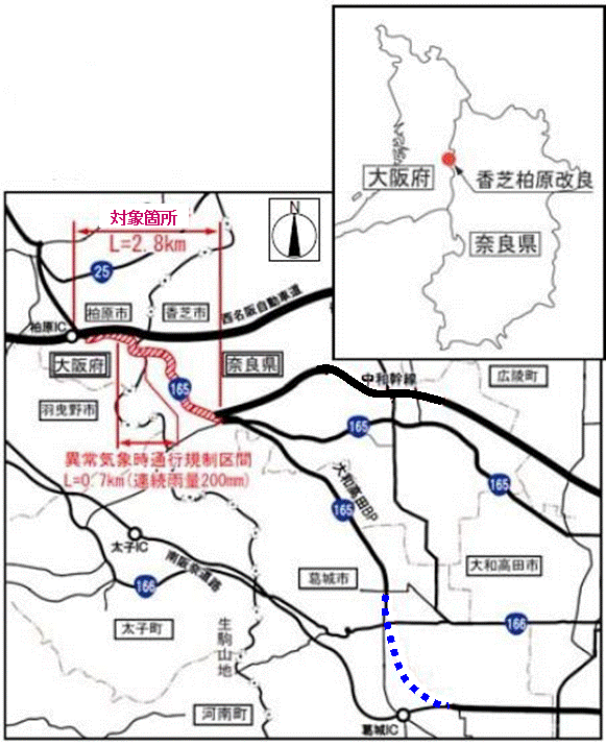


図１：香芝柏原改良事業概要図

香芝市は、大阪市から直線距離で約２５㎞といった地理的要因や大阪近郊のベットタウンとして住宅地開発され、近年著しい人口増加の傾向を示している。また、同市における自動車保有台数は１９８９年からの２０年間で約２倍に増加しており、香芝市周辺地域における自動車交通の潜在需要は年を追うごとに高まってきている。

このような中、大阪府柏原市から奈良県香芝市に位置する本事業は、府県間を繋ぐ国道１６５号を現状の２車線から４車線に改良することで、国道１６５号および大和高田バイパスそして奈良県を東西に横断する主要幹線である中和幹線との３路線から集中する交通を円滑に処理するとともに、西名阪自動車道へのアクセス性を高め、さらには地域間の交流促進を図るものとして２０１１年４月に香芝柏原改良事業として事業化されたものである。

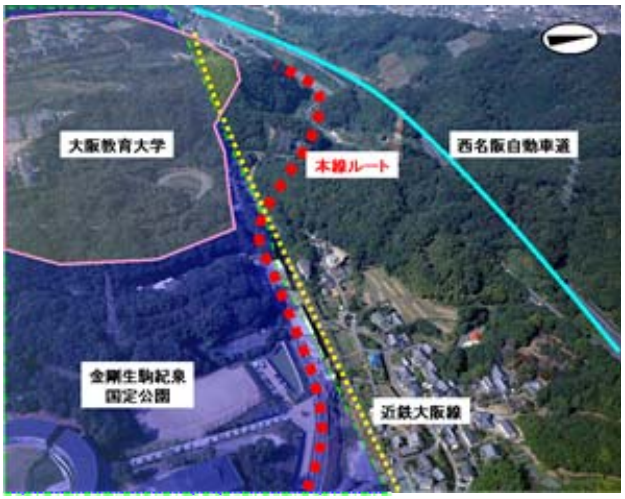


図２：計画ルート周辺状況

当該路線は、府県間における山地部を通過する道路で

あり、ルート周辺には住宅地・国定公園を含む未開発の森林を併せ持つ地域となっている。また、計画道路に近接・併走して鉄道施設・一級河川・西名阪自動車道の連結施設が存在しており、多岐にわたる各施設管理者との調整が生じる。

このような中、現況地形・地物を計測する上の課題として、計画道路の中心線とほぼ同位置に走る現道の国道１６５号は、その多くの部分が歩道未設置部分であり、見通しの悪い線形に加えて絶え間のない自動車の往来がある（写真１）。また、樹木が生い茂り、上空からでは地形・地物が判別できない箇所が点在していること、さらには鉄道・河川との重層的な構造も考慮する必要があり、正確な地形の反映と空間情報を把握するための標高データ取得が必要となったものである。

写真１：国道１６５号の交通状況写真

２．留意点と課題

今回必要となる香芝柏原改良事業における地理・地形的条件で測量作業を実施していくための留意点と課題について下記に述べる。

（１）手戻りのない測量地形図成果の作成

予備設計時点にて今回取得する地形図は、設計から詳細設計・用地取得・工事用図面に至るまで利用される。

工事や用地取得にあたり、現地との不整合が発生すれば工程への影響や用地の追加買収など、事業進捗に少なからず悪影響をもたらすこともある。

このため、予備設計段階において詳細な地形データを入手することでそれら後工程への負担を軽減する必要がある。

また、近接して、交差・並走する各施設について、精度の高い構造検討を効率よく実施するために、計画道路の上下立体的空間における情報を把握し、鉄道と交差する橋梁や立体横断施設などとの近接構造について設計に反映する必要がある。

（２）交通量が多い路線上での測量作業

香芝市域における府県間の主要な道路である国道１６５号は絶え間のない自動車交通があり、加えて見通しが悪く作業スペースが限られた現道上であるため、現道上での地形・地物取得に関しては走行中の自動車との接触事故の危険性に関してリスクが高く、作業上の安全確保を行った上での情報取得が課題である。

３．当該事例での対応方針

（１）地形図を取得するための測量技術について

地形図を作成するにあたり、代表的な技術としては、下記の技術が挙げられる。

１）空中写真測量（図３）

空中写真測量は、航空機等から撮影された空中写真を用いて、写真上に写された土地の形状及び地物等を計測し、数値地形データファイルを作成する作業である。

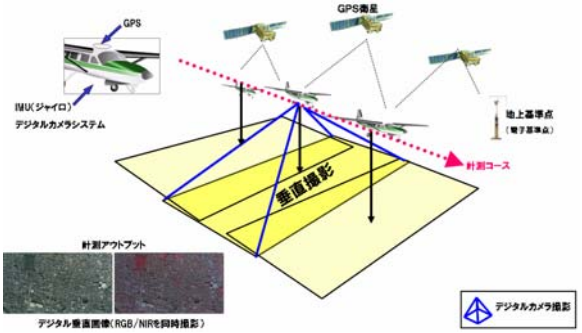


図３：空中写真測量イメージ

２）航空レーザ測量（図４）

航空レーザ測量とは、航空機に搭載されたＧＰＳ、ＩMU、レーザ測距儀により、調査地点の標高を航空機から発するレーザ光によりスキャンし、航空機および地上に設置されるＧＰＳ基地局によってレーザ光反射位置の標高を解析するものである。

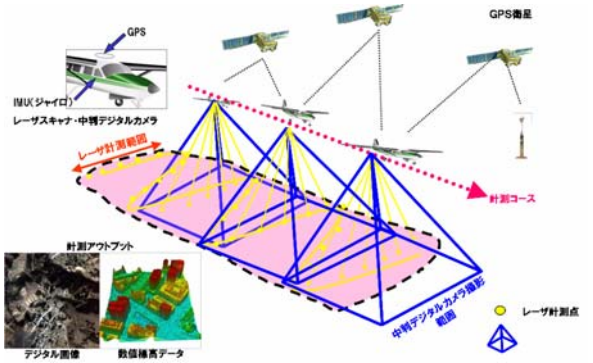
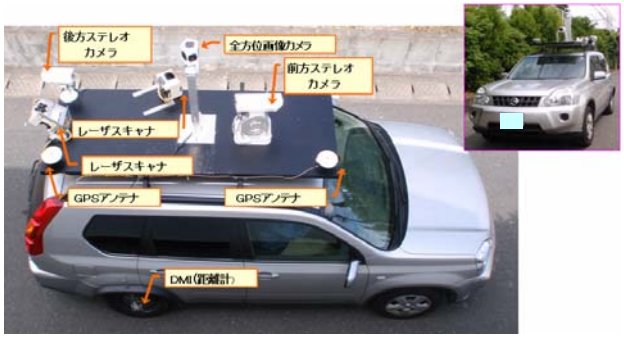


図４：航空レーザ測量イメージ

３）移動体計測（図５）

移動体計測とは、車載したレーザー測距儀により、車両周辺の標高データをスキャンしつつ、全方位画像カメラにより周辺地物状況を撮影することでＧＰＳの位置情報と連携して地形標高・地物を計測するものである。

車両の通行が可能な箇所においては天候に大きく左右されないため、現道付近において小規模範囲でのデータ取得が容易である。



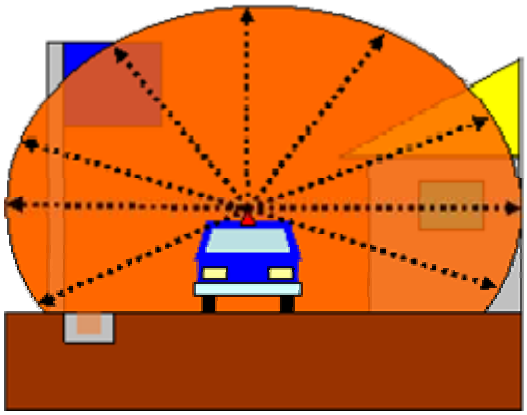


図５：移動体計測イメージ

４）人手による現地実測

本手法は人手により現地を確認しつつ計測を行うことから、信頼性は最も高い。しかしながら、広い範囲では大きな労力・期間を必要とする。

今回では、精度管理において確認するために現地での測量を部分的に実施することとした。（写真２）

写真２：道路敷での測量作業状況写真

（２）課題への対応方針

当該業務においては、これらの技術の特徴について整理し、それぞれの長所を考慮した複合的な測量手法により、地形図データを取得するものとした。

表１にそれぞれの測量手法についての特徴について整理する。

表１：今回採用を検討する測量手法の特徴

手法名	計測仕様（今回採用）	メリット	デメリット
航空写真測量	製品名：DMCカメラ 撮影縮尺：1/6000 撮影幅：縦996m×横550m 地上解像度：7.2cm/pixel	広範囲で面的な地物取得に向いている。 視覚情報に優れている。 均一な精度を担保。	陰影部（写って無い箇所）の地物取得は困難。
レーザー計測	製品名：ALS70 Phase Ⅱ 取得パルス：150,000 取得密度：縦0.5m～2.0m	広範囲で面的な地形形状取得に向いている。 計測密度を上げることにより、山地部などの標高取得精度の向上が可能	エッジ部分の抽出が困難 精度が点密度に依存される
移動体計測	製品名：LMS291-S14 距離測定範囲：最大80m 取得密度：0.16m （60km走行時）	沿道部の視覚情報に優れている。 沿道部からの地物取得に向いている。	車両から離れている地物の精度担保が困難

広い範囲で上空からの遮蔽物（樹木等）の少ない、住宅地や平地には航空写真及び航空レーザー測量は有効な方策である。

しかし、上空からの遮蔽物が多い地域では、現道付近の地物や構造物を確実に反映するためには現道上から放射状に点群データを取得可能な三次元移動体計測による計測の方が有利となる。

また、地物の把握については、空中写真測量による読み取りが一般的だが、遮蔽物等が存在する箇所では適用不可である。

このことから、今回事例においては上空からの航空レーザ計測に加え、重要構造物などの地物が多く、事業による地形改変箇所が特に多いと予測される現道上においては移動体計測によるデータ取得を採用し、これらの複数の手法による計測結果にて互いの計測データを補完することとした（図６－１、図６－２）。

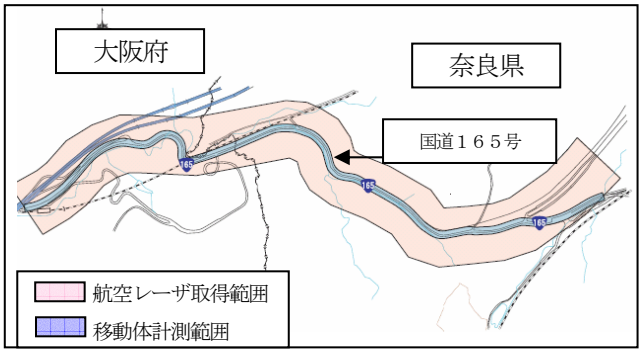


図６－１：各測量手法のデータ取得範囲

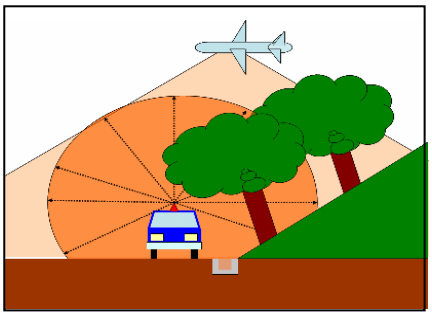


図６－２：計測イメージ

これらの計測により得られた情報は、路線周辺に設置された１級・３級基準点と航空レーザー計測時にあらかじめ設置した調整点などを利用して調整計算を実施して補正を行った。その後、樹木や構造物の高さを除去するため各データのフィルタリング作業を実施し、標高データの整合を行った。

４．結果

これにより、上空・地上双方から複数の角度にてデータを取得することが可能となり双方の技術の長所を活用し、かつ短所を補完しあうことで高精度かつ高精細な標高データの取得が可能となった。

（１）相互補完による点群データ取得

図７に示すような航空レーザの取得が困難な箇所においても路面側からのデータ取得が可能となり、地形データをより精細に取得するために必要な標高点群データが得られた。（図８）

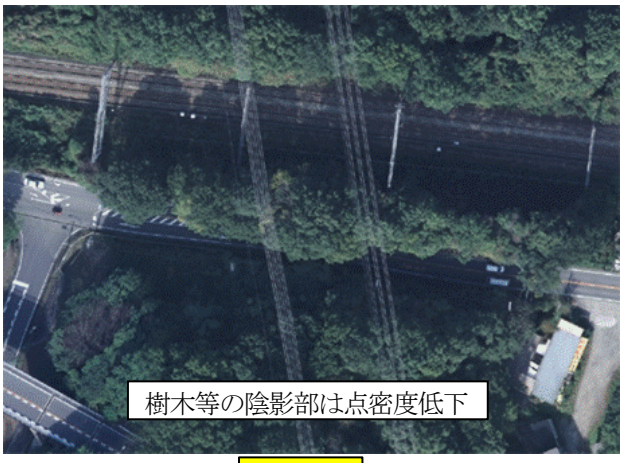


図７：レーザ計測の点密度が低下する箇所の事例

図８：地上からのデータ取得（点群データ）

（２）レーザーデータによる高精細地形図

レーザーデータで取得したデータは従来の空中写真測量の図面に比較して、細部まで等高線が表現されている（図９）。これにより、現地地形との設計図の差異による作業手戻りの減少を図ることが可能となった。

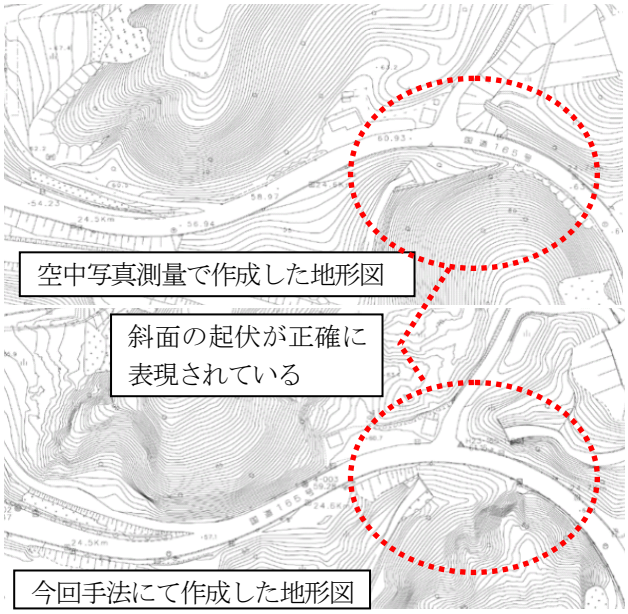


図９：空中写真測量図と今回作成図面との比較

（３）全方位カメラによる地物情報の取得

移動体計測の全方位カメラ画像（写真３）の取得により、現道上の地物についても室内による画像データにより解析することが可能となり、安全で確実な情報を反映することができた。

また、実測による交通量の多い現道箇所において現地作業が軽減されたことにより、事故へのリスクを低減することが可能となった。

写真３：全方位カメラ画像と前方カメラ画像

（４）三次元空間情報データの取得

レーザー点群による座標データを取得したことにより三次元空間情報が取得できたことから必要な任意の視点から計画路線周辺の地形状況を把握することが可能（図１０）となり、併走・交差する鉄道との協議や構造検討資料として有効活用が可能となる。

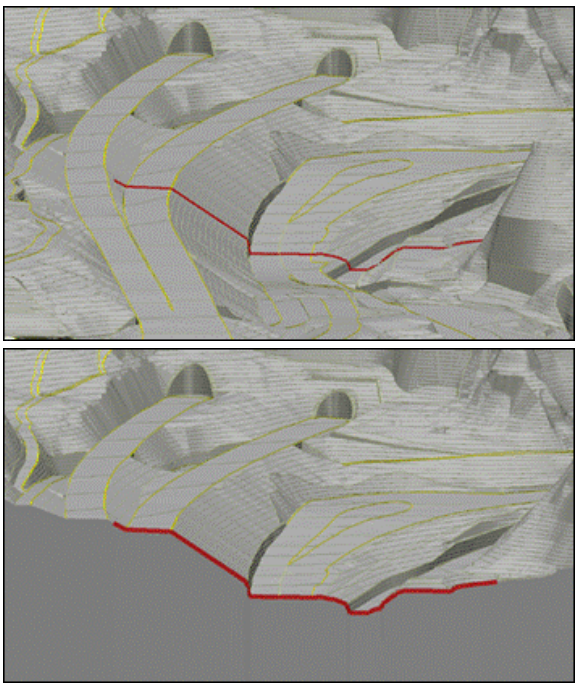


図１０：任意断面にて横断図の取得が可能

（５）点群データによる多様な表現が可能

これらのデータを用いることで多様な視点からの表示が可能（図１１）となり、景観・既存構造物の形状についてもわかりやすく表示することができる。また、通常地形図では表現されない送電線等が、三次元空間内で表示できるため、設計検討の際には周辺状況の把握に有効

なデータとなる。

これらの取得した空間情報を用いれば関係者間において有益な情報共有が可能となる。

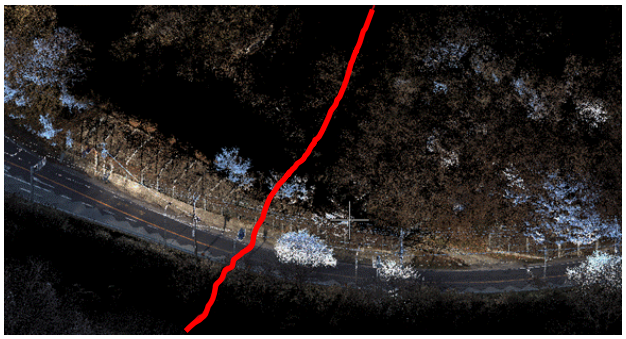
図１１：点群データ（鳥瞰視点を着色加工したもの）

５．標高データ精度の確認

上記作業において得られたデータについて標高精度の検証を行った。検証にあたり、真値となる検証用データを取得する必要があった。そこで、実測作業により横断測量を実施し横断データを作成した。取得した横断データは、公共測量作業規程に準じた精度管理（公共測量作業規程362条）を実施し、中心杭と末端見通杭の距離及び標高の測定値と点検測量値の較差が3~5㎝であったため、検証用データとして十分に使用できると判断した。

横断データとの比較検証の結果、課題事項の一つである樹木が生い茂っている箇所の標高データ取得について、三次元移動体計測を用いることにより、標高差1～10㎝の精度確保が確認できた（図１２）。

この精度は、公共測量作業規程に記載される地図情報レベル500の精度（表２）を十分に満たしたものであり、今回実施した測量手法の精度は詳細設計にも耐えうるものである事が確認された。



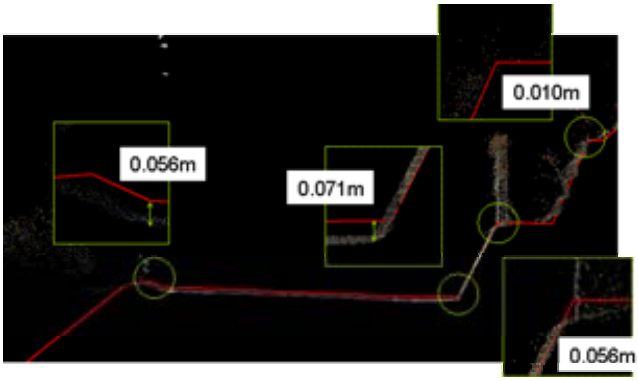


図１２：実測横断による標高データ検証

表２：公共測量作業規程による地図精度要求

地図情報レベル	水平位置の許容誤差	標高の許容誤差
500	0.15m以内	0.2m以内
1000	0.3m以内	0.3m以内
2500	0.75m以内	0.5m以内
5000	1.5m以内	1.0m以内
10000	3.0m以内	1.5m以内

６．おわりに

本事例では、3つの計測技術を用いることにより高精細な三次元地形図データを取得する事ができた。

これらの三次元地形図データを用いることにより、道路設計を行う際には平面的ではなく空間的な検討が可能となる。

また、高精細な標高データが取得・反映されていることから、後続作業である詳細設計時の追加的な現地測量の低減が見込まれる。

さらに得られた標高点群データを利用すれば、鳥瞰的表示など、任意の視点での完成予想図（パース）作成が容易に行えるなどの利点がある。（図１３）

本技術の将来展望として、本作業で得られたデータはその利用方法によっては、「道路防災面の対策検討」や「排水系統のモデル化」「環境のシミュレーション（大気・騒音分布モデル）や走行シミュレーション」等の幅広い利用用途の可能性が考えられる。

このような可能性について、より一層この三次元地形図データの活用方法を模索して行く事が重要と考える。

図１３：空間情報データへ写真情報を追加した例

しかし、今回採用した現道上からの移動体計測機器については、現在公共測量作業規程に無い新技術であるため、機器の仕様について統一されていない。普及に伴い標準的なマニュアルが整備されることで、標準仕様が確立されれば、さらなる普及・活用範囲の拡大が期待される。

また、近年では陰影部においても、従来の航空レーザ測量よりも高精度なデータ取得が可能な技術などが開発されてきており、我々発注者にとっては事業の後工程のためにも、良好な基礎資料を確保していくうえでさまざまな選択肢が生まれてきていると言える。

発注者側としても、より良好な品質成果を得るためには、日々技術革新されるこれらの技術情報について常に情報収集が必要不可欠である。

本事例は測量技術における高精度な３次元空間情報取得への課題に対応した１事例であり、本事例が他事案への先進的な参考事例としてさらなる技術発展に寄与できれば幸いである。

謝辞：本論文の作成に際し、資料提供にご協力いただいた国際航業株式会社をはじめ、作業に協力していただいた関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表する。

参考文献

1)国土交通省公共測量作業規程（社団法人日本測量協会）

2)香芝柏原改良測量業務報告書（近畿地方整備局奈良国道事務所）

3）モバイルマッピングシステムを用いた計測手法の精度検証　国際航業株式会社

平成22年度秋季学術講演会発表論文集、日本写真測量学会（2010.10）、p23～p26

4）図解 航空レーザ計測（財団法人 日本測量調査技術協会）