

東駿河湾環状道路(沼津岡宮～愛鷹)における 航空レーザ測量を用いた 3 次元地形図作成

奥村 太河¹

¹ 中部地方整備局 沼津河川国道事務所 計画課(〒410-8567 静岡県沼津市下香貫外原 3244-2)

2023 年 4 月より国土交通省直轄の業務・工事では BIM/CIM 原則適用とされ、道路分野においても測量・調査段階で作成した 3 次元地形図は設計や施工において活用されている。その一方で 3 次元地形図作成に必要となる高密度・高精度な 3 次元点群データが未整備、あるいは航空法の飛行制限により UAV を用いた新規取得も困難な工事箇所が多く存在する。

そこで本稿では、航空レーザ測量を基本として 3 次元点群データを新規取得し、設計、施工に要求される精度を満たす 3 次元地形図の作成手法、及びその効果・課題について報告する。

キーワード BIM/CIM, 3D モデル, 点群測量, 3 次元地形図

1. 背景・目的

沼津河川国道事務所管内では、国道 1 号等の慢性的な交通混雑の緩和及び南海トラフ巨大地震時における緊急輸送ネットワークの構築を図るため、東駿河湾環状道路(沼津岡宮～愛鷹)の整備事業が進められている。起点となる沼津岡宮 IC 付近では、東駿河湾環状道路、東名高速道路、県道足高三枚橋線との連結のため、8 本のランプ橋の建設が予定される複雑な構造となっており、地形状況を正確に把握することが重要となる。

従来の写真測量では、道路設計、橋梁設計に要求される精度での 3 次元地形図作成は困難であり、より高精度化するための手法の 1 つとして、レーザ点群からの数値図化が挙げられる。本地区では既存の航空レーザ測量成果が存在するが、点密度が 16 点/㎡であり、家屋、送電線、側溝等の地物等の数値図化には不十分であった。また、今後の活用を考慮すると公共性の高い地形図を作成する必要があったが、主としたレーザ点群が有人機による航空レーザ測量によって取得されたものであり、航空レーザ測量点群からの地形図作成は公共測量作業規程で規定されていない。したがって、測量法第 17 条の申請により、公共測量として認められた手法¹⁾により 3 次元地形

図作成を行った。

2. 3 次元点群データの取得

3 次元点群データの取得は、航空レーザ測量を基本とし、補完計測として車載写真レーザ測量、地上レーザ測量、TS 現況測量も併せて実施した。

(1) 航空レーザ測量

航空レーザ測量の実施にあたり、UAV の活用を検討したが、本業務区域内に自動車専用道路、県道等があり、航空法の UAV 飛行制限区域に該当するため、有人機による航空レーザ測量を採用した。

航空レーザ測量は谷部地形・家屋形状取得を目的に業務範囲全域に対して実施したが、全域を高密度かつ高精度に実施することが課題であった。

数値図化において漏れの無い点群データを取得するため、通常 4 点/㎡程度で実施する航空レーザ測量のコース計画を検討し、多方向からレーザ点が照射されるようにコース方向を 3 方向としたほか、400 点/㎡以上の点密度とした。

標高精度検証用の調整点は通常 4 点だが、標高を高精度に管理するため業務範囲全体に 21 点配置した。調整点の観測は通常は GNSS 観測のみであるが、本業務では始終点において GNSS 観測を行った後、各点間について 4 級水準測量(直接水準測量)を実施

することで標高の高精度化を図った。調整点各点の標高値をレーザ点群と比較した結果、標高較差が0.00～0.02m（標準偏差）と良好であることを確認した。加えて水平精度検証のために、マンホールや白線、家屋等を検証点としてTS 測量も実施し、較差が0.00～0.03m（標準偏差）であることを確認した。

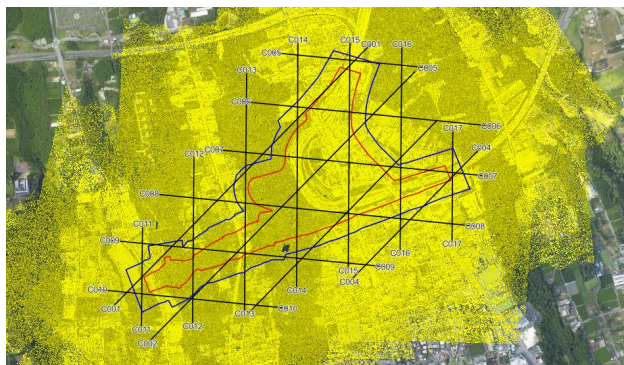


図-1 航空レーザ測量の実施範囲

(2) 地上レーザ測量

地上レーザ測量は、市街地（平坦地）における微細な地形・構造物等の取得を目的として実施した。本計測は定点計測であり、最も高精度な3次元計測手法であるため、計測可能な箇所においては優先的に実施した。ただし、対象物との距離が離れるほど点密度が粗くなるため、スキャナの平均設置間隔は、基準点間距離（約50m）とした。

精度点検は、TSによる地物データと、点群データとの較差について確認し、水平・標高較差ともに0.00～0.01m（標準偏差）であることを確認した。

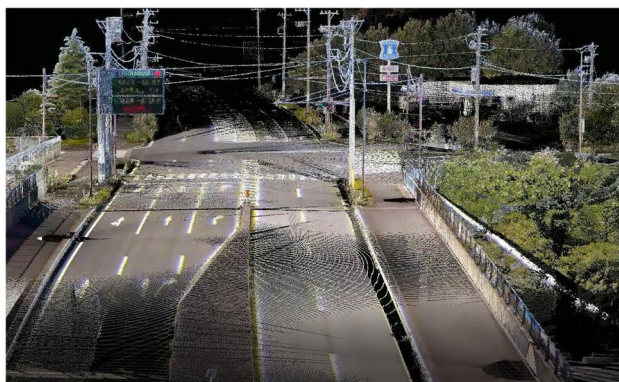


図-2 地上レーザ測量による点群データ

(3) 車載写真レーザ測量

車載写真レーザ測量は高架下及び道路周辺の構

造物取得、及び自動車専用道路における安全作業を目的としてバイパス等の主要道路部を対象に実施した。

精度点検は、各取得路線の起終点近傍等に調整点を13点設置し、水平、標高ともに較差の標準偏差が0.00～0.02m以内であることを確認した。



図-3 車載写真レーザ測量による点群データ

(4) TS 現況測量

TS 現況測量は、詳細設計で重要なコントロールポイントとなる既設構造物や道路骨格線等について、TS を使用して実施した。

(5) 測量手法間の較差点検

3次元点群測量の異なる測量手法において、較差の有無を確認するため、航空レーザ測量と各種計測（地上レーザ測量、車載写真レーザ測量）間における点検を実施した。結果は下表の通りであり、レーザ点群からの数値図化に適するデータセットであることを確認した。

表-1 各3次元点群測量手法間の較差点検

比較データ	項目	水平較差	標高較差
航空レーザ測量 地上レーザ測量	平均値	0.02m	0.00m
	最大値	0.04m	0.01m
	最小値	0.01m	-0.02m
航空レーザ測量 車載写真レーザ測量	平均値	0.03m	-0.01m
	最大値	0.05m	0.00m
	最小値	0.01m	-0.02m

3. 3次元地形図の作成

(1) 点群データからの数値図化

前述の3次元点群データ及びTS 現況測量データを基本としつつ、写真地図データ、レーザ点の反射強度画像なども参考にして、数値図化することにより3次元地形図を作成した。なお、立ち入り規制や

植生の繁茂を理由とした点群データ不足箇所については既存の道路台帳附図を参考にした。また、地物の高さ情報は、「設計用数値地形図データ(標準図式)作成仕様【道路編】(案)」²⁾における「作成レベル2」を適用したが、一部図形は、「作成レベル3」を適用してレベル向上を図り、横断面図との互換性を向上させた。



図-4 「作成レベル3」を適用した図形

(2) 目視点検

家屋裏の法面や、特殊な地形は数値図化の難易度が高く、異常地形の原因となる。そのような異常地形の有無についての目視点検を実施し、修正処理を行った。

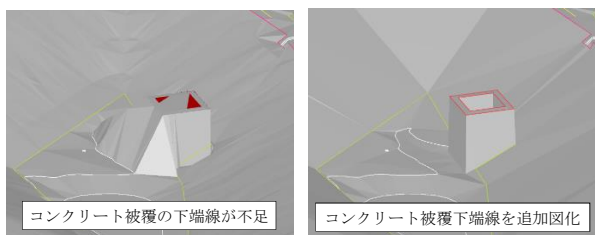


図-5 目視点検による修正例

(3) 論理点検

「設計用数値地形図データ(標準図式)作成仕様【道路編】(案)」²⁾では等高線と道路等の地物標高が一致するように規定されている。地物と等高線等、標高要素が交差する箇所において、論理点検を実施し、不一致箇所については編集作業を行い、標高を完全一致させた。

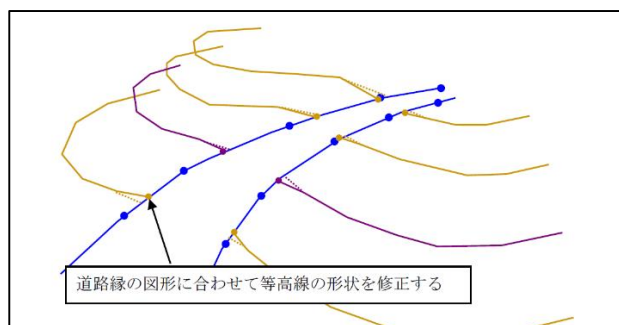


図-6 等高線と地物等の標高一致の例²⁾

(4) 実測法との較差検証

本数値地形図作成は、公共測量作業規程に定めのない手法であるため、現地実測による数値図化データの点検を行うよう「国土地理院」から助言があった。現地実測は、TS法により実施し、水平・標高ともに平均較差が0.03m以内であり、非常に精度の高い3次元地形図であることを確認した。

(5) 縦横断面図作成に伴う処理

作成した三次元平面図から、縦横断面図データファイル用の三次元モデルを作成し、横断側線箇所の自動横断データを作成した。横断データは、点群データとの整合を図るため、修正処理を施し、横断面図を作成した。また、縦断面図については、作成した横断面図の中心点データから作成した。

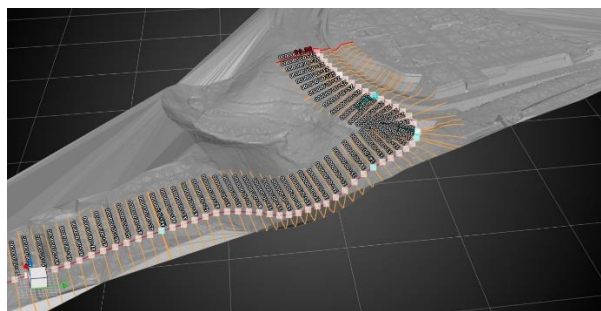


図-7 三次元地形モデルからの横断データの作成

4. 本手法による効果

(1) UAV 規制空域での3次元地形図の作成

高密度・高精細な点群データを取得するために、多くの事例において低高度で計測可能なUAVレーザが採用されているが、前述の通り、従来の航空レーザ測量及びその他3次元測量の組み合わせにより、較差3cm以内の数値図化の達成を可能とした。これにより、UAV飛行が規制される人口集中地区(DID)周辺においても、短期間かつ広域に、設計に必要な精度を確保した3次元地形図が作成できた。

(2) 縦横断面データ作成の迅速化・省力化

3次元地形図より生成した地形モデルにより、PC上で縦横断面図の自動作成が可能となり、縦横断面図速

報要求に対応するなど、事業進捗に応じたデータの提供が可能となる。また、現地作業が必要ないためヒューマンエラーによる手戻りの発生防止や危険作業の軽減、事業のコストダウンにつながる。

(3) 地形図を活用した現況の可視化

現況の可視化により、景観検討や2次元図面の理解補助など、事業を円滑に進めることが可能となる。

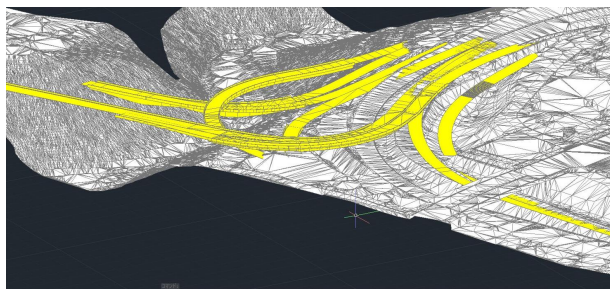


図-8 地形図と橋梁モデルの鳥瞰表示

5. 課題と展望

今回作成した三次元地形図および縦横断面図については、橋梁や道路の予備設計等に活用するとともに、現況の可視化等、その他の活用方法についても検討していきたい。

また、今回の計測において、より高精細な点群データを取得するために、平坦地においては地上レーザを優先的に使用したが、航空レーザ点群のみで地物や地形を十分に表現できている箇所も存在した。今後同様の業務を実施するにあたっては、データの

計測箇所を適切に把握することで、より効率的かつ安価に作業することが可能であると考えられる。航空レーザ測量は通常のTS測量と比較してコストが課題になることから、計測作業に関わる知見を今後蓄積していくことで本技術の活用促進につながると考えられる。

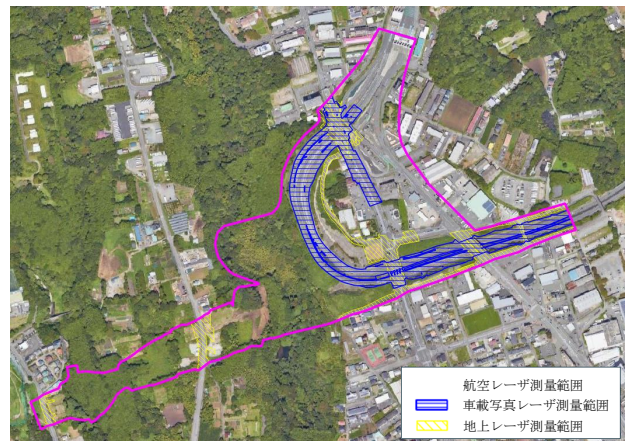


図-9 各手法の適用範囲

謝辞：本稿の執筆にあたり、ご協力いただきました中日本航空株式会社様に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中日本航空株式会社：航空レーザ測量による数値地形図データ作成マニュアル（案）2版
- 2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：設計用数値地形図データ（標準図式）作成仕様【道路編】（案）