

由良川地形レーザー計測における一考察について

発表者 近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 調査課 田上 隆弘

はじめに

由良川は、これまで沿川に幾多の洪水被害をもたらしてきた河川であり、直轄改修事業として昭和 22 年より本格的に築堤や河道拡幅・掘削などの治水対策が進められている。

現在、由良川下流部（河川延長約 32.0km）の治水対策は、水防災対策特定河川事業として平成 13 年度から事業化され、従来の連続堤防より効率性の高い輪中堤や宅地嵩上げなどの施策の見直しに対する計画の検討が進められている。これらの中でより具体的な計画・設計に資する地形・地物の基礎資料を作成するため、計測の精度や密度あるいは経済性を考慮した、技術提案型の業務発注を行い、新たな測量技術を取り入れて空中写真測量を用いた地形図（縮尺 1/500）の作成と最新技術である航空レーザー測量を用いた標高（計測密度 50cm）の計測を行った。

なお、この測量結果を地上測量との比較で検証した結果、目標通りに水平位置及び標高ともに高い精度（標準偏差 9cm）及び密度（40cm 程度の間隔）であることが確認できた。

1 由良川水防災対策事業における新技術の活用

1.1 背景と目的

由良川下流部の治水対策は、これまで大規模な河道拡幅・掘削や連続堤防による整備が図られてきたが、未だに相当の未改修部分を残しているのが現状である。しかしながら、通常の連続堤防による河川改修を実施するには、平坦地の多くが河道として必要となり、沿川の土地利用に与える影響は極めて大きいものと考えられる、治水効果発現までには多くの時間と費用を必要とする等の観点から早期に住家の治水安全度の向上を図るための新たな治水対策を取り入れ、一部区域の洪水氾濫の許容を前提に、住家を輪中堤や宅地の嵩上げの方式で洪水氾濫から防御する水防災対策特定河川事業が平成 13 年度から事業化されている。

そのことから本測量は、事業の検討を進める上で、より具体的な計画・設計に資するための地形・地物の基礎資料を作成するものであるが、通常の計画や工事設計などで実施する測量では、各目的に応じて地図情報レベルや測量手法などが一定確立されており、それらを用いて実施することが一般的である。しかし今回の事業は、従来の計画に付随できず、具体的には計画堤防法線（輪中堤）の選定、氾濫区域内対象家屋の地盤高把握、内水及び氾濫解析モデルなどの検証を行うにあたって広域的なエリアで多くの情報が必要である。

そのことから本測量の作業手法を 事業の特性を踏まえた効率的・経済的手法、高精度・高密度な手法、多くの用途へ活用可能なデータ取得、

計画～設計（詳細）までを網羅する地形図作成の 4 つの観点にたって、通常的手法にとらわれずそれらが実現可能な最新の測量技術の手法を導入して、基礎資料の作成を実施した。

1.2 測量の実施箇所

実施箇所（図 1）は、由良川水系河川整備計画（案）に基づき、下流部では現況の治水安全度が低くて河川整備の優先度が高い 4 つの地区、中流部では超過洪水による氾濫被害の軽減対策において内水や洪水氾濫の解析モデルなどの検証を行う 1 地区を選定した。



図 1 測量の実施箇所と面積

2 採用手法(地形図作成)

2.1 手法の検討

通常地形測量の場合、計画や概略・予備・詳細設計など各目的に応じた地図情報レベルが設定されるが、今回は計画から設計まで全て網羅することを念頭に詳細設計で用いる地図情報レベル 500 だけの作成を行うこととした。しかし、通常測量手法では幾つかのハードルをクリアしなければならぬ。まず大縮尺図(1/500)の数値地形測量にあたっては、通常は空中写真測量によるが、縮尺 1/1,000 以上では高さ精度が低いために地形補備測量による補完が必要とされている。また、地上で実測を行う平板測量では、膨大な作業と時間が発生する。そのため、基礎資料の作成には膨大な経費が必要となる。そこで、本業務では地盤高計測において近年急速に実用化が進みつつある最新技術の航空レーザー測量を導入した。その際、1秒間に25,000発のレーザー計測が可能なヘリコプター搭載型を採用して空中写真測量と併用することにより、作業効率が良く、設計までを視野に入れた経済的で高密度・高精度な地形・地物情報(X,Y,Z)の計測が可能であることとした。

なお、標高点の計測密度は50cm程度とし、精度は国土交通省公共測量作業規程(以下、作業規程)地形測量の精度を十分に満足することとした。

2.2 航空レーザー測量

航空レーザー測量とは、航空機に搭載されたレーザスキャナーから建物や樹木などの地表面にある物体を含む地表面形状を、高密度な標高点群として能動的に計測する測量手法である(図2)。

航空機の位置や傾きをそれぞれGPS(Global Positioning System、汎地球測位システム)とIMU(Inertial Measurement Unit、慣性計測装置)を用いて連続的に計測すると共に、ノンプリズム型レーザー測距儀で地表をスキャン(レーザスキャナー)することにより、レーザー発射点の位置座標、発射方向角度、発射点から反射点までの距離を計測し、後処理により反射点の三次元座標を求めるものである。その際、レーザー発射点の位置計測精度を向上させるため、計測と同時に約50km当たり1点の地上の既知点(三角点など)でGPS観測を行い、基線解析を行う。

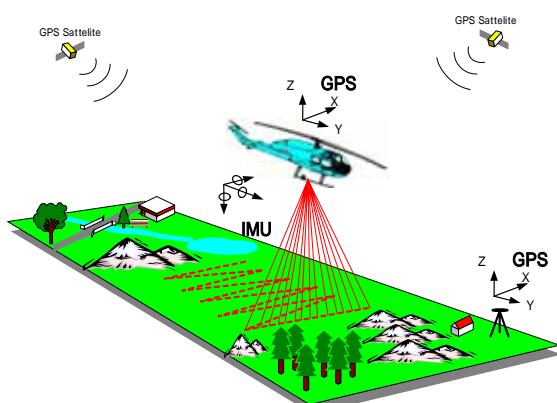


図2 航空レーザー測量

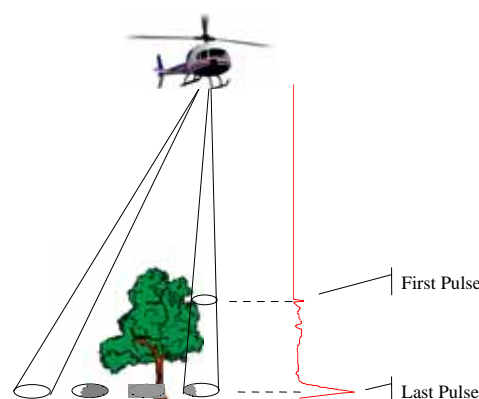


図3 レーザー計測の特性

レーザー光線は、直進性が強く、広がりが少ないため、高い計測精度が得られる。例えば、航空レーザー測量システムでは一般に0.2~0.5m rad程度の拡散度が採用されており、本業務では0.2m radで拡散できるシステムを用いて500mの高度から計測したため、地上に到達するレーザー光線の広さが直径約10cmと非常に小さく、より高い計測精度を確保した。

航空レーザー測量は、特にレーザー光線が持つ特性から、次のような特徴を持っている。

能動的な計測手法であるため、システム性能の向上により高密度な計測が可能である。

データがデジタルで処理され、多くの工程で自動処理されるため、迅速な処理が可能である。指向性の高いレーザー光線が使われているため、樹木の枝葉のような狭い隙間もレーザー光線が通過し、植生で被覆された地区も地表面を計測できる可能性が高い。

反射されてきたレーザー光線をその強度によって時系列的に捉えるため、最初に反射してきたレーザー光線(ファーストパルス)で樹冠を、最後に反射してきたレーザー光線(ラストパルス)で地表を同時に計測するといった、土地被覆と土地表面の両方を同時に計測可能である。(図3)

本業務では、高密度の高さ情報が必要となる事から、高密度な高さ計測が可能な航空レーザー測量は非常に有効と考えられる。

3 検証精度

本業務では作業規程に記載されていない新技術を採用したため、全体の精度を立証するため水平位置と標高について現地条件に偏りが無いよう比較的多くの範囲で点検測量を行った。

水平位置の点検手法は、現地にて地物間の距離をテープにて計測した値との比較と平板測量（図4）による後方交会（2地点からの方向による交点）によって得られた位置との比較によって行った。標高は、水準測量（図5）により空中写真測量及び航空レーザー測量のそれぞれについて行った。なお、空中写真測量の標高は地図上に表示するために取得されたものである。



図4 平板測量による点検



図5 水準測量による点検

点検の結果（表1）から、水平位置については標準偏差で0.07mが得られ、制限値（作業規程の水平位置の制限値（地図縮尺1/500）である図上0.5mm（現地で0.25m））を満たしていることが確認できた。

標高については、空中写真測量及び航空レーザー測量による標高、どちらも同一箇所で計測し、標準偏差でそれぞれ0.10mと0.09mが得られ、作業規程の標高の制限値（等高線主曲間隔1mの1/4で0.25m）を満たしていることが確認できた。

また、その計測密度についても計測区域と取得点数を点間隔に換算すると約40cm間隔であり、視覚的に点検した上で均等な間隔にデータが取得されていることが確認できた。

表1 精度検証結果

地区名	北有路地区	水間地区	私市地区	志高地区	大川地区	全体	備考
作業項目							
面積[km ²]	1.0	0.7	0.3	1.2	1.3	4.5	
実施点検面積[km ²]	0.08	0.11	0.06	0.10	0.12	0.47	
水平位置精度							
最大較差[m]	0.30	0.15	0.37	0.28	0.28	0.30	
平均較差[m]	0.06	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04	
標準偏差[m]	0.08	0.05	0.08	0.06	0.08	0.07	精度規程:図上0.5mm(0.25m)
標高精度							
空中写真測量標高							
最大較差[m]	-0.22	0.41	0.27	-0.32	-0.21	0.41	
平均較差[m]	-0.04	-0.03	-0.01	0.01	0.03	-0.01	
標準偏差[m]	0.10	0.10	0.11	0.10	0.09	0.10	精度規程:主曲線(1m)の1/4(0.25m)
航空レーザー測量標高							
最大較差[m]	-0.26	-0.20	0.20	-0.22	0.18	-0.26	
平均較差[m]	-0.01	-0.03	0.00	-0.02	0.01	-0.01	
標準偏差[m]	0.10	0.09	0.06	0.09	0.07	0.09	精度規程:主曲線(1m)の1/4(0.25m)
標高点の計測密度							
平地部[m]	0.37	0.49	0.36	0.37	0.40	0.39	
山地部[m]	0.42	0.36	0.34	0.34	0.38	0.36	計画密度:0.5m

4 検証結果

空中写真測量・航空レーザー測量（標高点）ともに目的とした取得データの精度・密度を得ることができた（図6）。この測量技術は、道路・河川といった公共測量においても使用が可能な手法の1つと考えられる。

ただし、航空レーザー測量の特性を考えると、地形的な要因や気象的な要因に大きく左右されることが分かっている。今回の計測では、主に河川流域の地形を冬期（無雪）に作業し、成果としては良好なものが得られたが、計測には現地状況や時期等を考慮する必要がある。

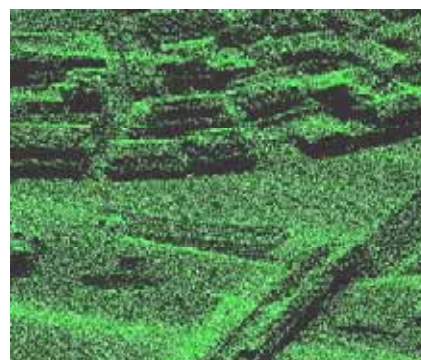


図6 航空レーザー測量成果（点群図化によって表現）

5 成果の活用

5.1 成果の活用

精度検証の結果、これから実施していく設計業務に対しても十分に活用できる精度が得られたことが確認できた。今年度は、この成果を活用した設計業務とレーザー計測という新たな測量手法で得た高密度な標高データの活用で実際の地形により近いモデルでの水理的な影響等の検証を行っていく。また近年では、地域住民へのわかりやすい説明が重要であり、今回得たデータが三次元画像や氾濫のシミュレーションなどの基礎データにもなることから(図7)最大限の活用を図り、水防災対策事業が個々の地形特性に応じた最適な治水対策の選定によって地域住民誰にも満足が得られるような形に展開していく。



図7 三次元画像

5.2 成果活用の可能性

作成した成果は、本業務が目的とする利用のみに留まらず、多くの用途が考えられる。そこで、幾つかの用途について紹介する。

(1) 洪水への植生要因分析

ファーストパルスとラストパルスで整備された DSM(Digital Surface Model: 植生の樹冠や家屋の屋根などを含む表層の標高)と DTM (Digital Terrain Model: 地表面の標高)により、植生の分布状況および植生密度を解析して定量化することが期待できる。また、植生が洪水時に与える影響は大きく、植生によって氾濫を緩和する効果もあることから、河道計画等への利用も期待できる。

(2) 氾濫シミュレーション

氾濫解析用のデータは、国土地理院が発行している数値地図 50m メッシュや縮尺 1/2,500 等の大縮尺地形図の等高線から作成したメッシュ標高が用いられているが、必ずしも標高精度が十分とはいえない。本業務では、0.5m メッシュの標高および三次元地図データを整備したことにより、氾濫解析において精密なデータが確保され、より現実に近い形で浸水想定区域図又は洪水ハザードマップのシミュレーションが行える。

(3) 空間情報の把握

このデータは、無数の点データ(X,Y,Z)を取得しており、その集合によって河川・道路・海岸などあらゆる地形・地物の形状を表現できる。また定期的な計測を行うことにより変遷の把握も可能となる。その他、縦横断形状の取得や図の作成が容易となることから、空間情報の把握への活用が期待できる。

6 今後の課題

航空レーザー測量は、一般的な手法としてはまだ確立されていないとともに、その他にも類似した手法が幾つか存在する。

また、国土(河川、道路、海岸、山林など)の計画・整備全般に活用が考えられるが、それぞれの特性が異なるなどと言った事もあり、十分な実績と検証を行った上で機器特性の把握や自然条件への適応などの様々な計測条件の整理が必要である。

現在は数値地形測量の一環として測量機関にて検討されているようであるが、それらを整理する事により応用測量として捉えた作業手法の標準化が図られ、以後この手法が多くの用途・目的で使われる事が考えられると共に、国土行政における積極的な新技術の活用への取り組みが更なる測量技術の向上にも繋がる。

以上