航空レーザ測量によるレベル500地形図の作成について
～事業初期段階における効率的な地形データの取得～

川野　明夫[1]・川野　睦也[2]・佐々原　秀史[3]

[1]独立行政法人水資源機構　草木ダム管理所（〒376-0303　群馬県みどり市東町座間564-6）
[2]独立行政法人水資源機構　寺内ダム管理所（〒838-0029　福岡県朝倉市荷原1516-6）
[3]独立行政法人水資源機構　小石原川ダム建設所　調査設計課長（〒838-0019　福岡県朝倉市上秋月1373-1）

小石原川ダムでは、航空レーザ測量による地形図作成に当たり、新技術の導入等により計測精度の向上を図るとともに、測量成果について既存の現地測量成果と比較することによる精度の検証等を行った。その結果、精度の高い地図情報レベル500（相当縮尺1/500）の地形図作成に成功し、航空レーザで行う地図情報レベル500の測量について、国内で初めて国土地理院の公共測量の承認を受けた。

キーワード　航空レーザ測量、地図情報レベル500、公共測量、精度検証、効率的地形情報取得

１．はじめに

小石原川ダムは、筑後川水系小石原川（福岡県朝倉市）に建設中の、洪水調節、流水の正常な機能の維持、水道用水の供給を目的とした多目的ダムである（図－１）。

図－１　小石原川ダムの位置

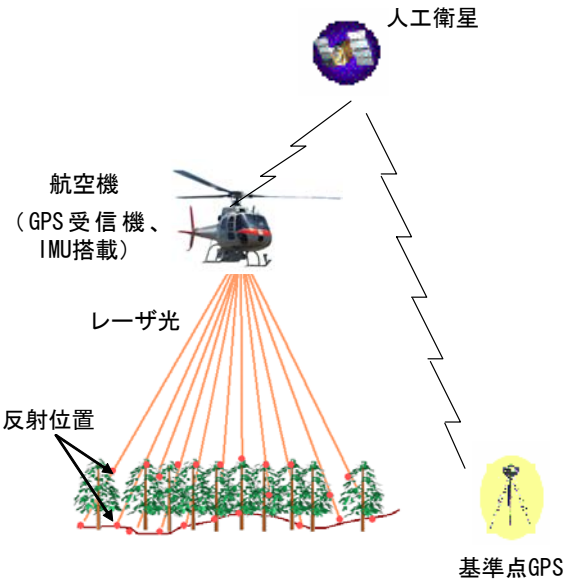
現在、ダム本体及び付帯設備、付替道路、仮設備等の調査、設計を実施しているが、これらの設計に当たって、地図情報レベル500（相当縮尺1/500）の地形図が必要となった。

一般的に、地形図を作成するためには現地に立ち入り測量を行う必要があるが、小石原川ダムでは、今回、航空機を用いた航空レーザ測量により地図情報レベル500の地形図の作成を試みた。

２．航空レーザ測量について

(1)航空レーザ測量の原理

航空レーザ測量は、航空機に搭載した「レーザ測距装置等」を用いて地表の３次元計測を行うものである。航空機から地表の物体にレーザ光を照射（レーザ発射点の位置はGPS受信機で計測）し、その反射光の到達時間と方向（IMU（慣性計測装置）で補正）から地表の３次元座標を取得するものである（図－２）。



図－２　航空レーザ測量の原理

(2) 航空レーザ測量技術の現状と問題点

国内で航空レーザ測量による地形情報の取得が盛んになり始めたのは平成13年頃からであり、現在に至るまでレーザ発光数の向上等、計測作業の効率化を中心に機材の改良が進められてきた。

しかし、現在までの改良においてもダムの事業区域のように植生が繁茂する森林下の地形を高密度・高精度に計測することについては、劇的な改善が見られていない。これは、入射光が葉や枝に遮られて地表面に到達するまでに大きく減衰し、地表面からの反射光も同様に葉や枝に遮られてさらに弱くなり、地表面のデータを取得できないことがあるためである。

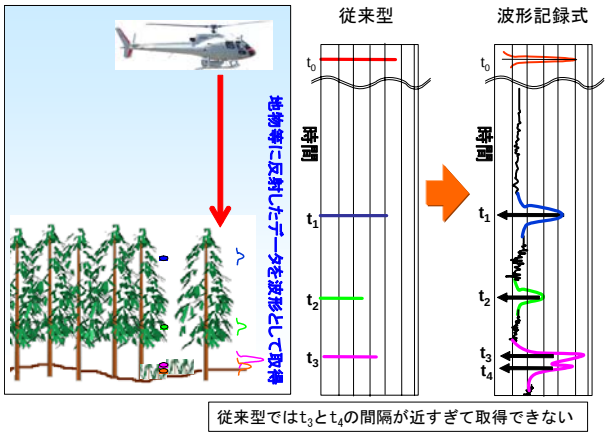
３．計測計画及び地形図作成

(1) 計測計画

従来、航空レーザ測量による地形図は、国土地理院の「航空レーザ測量による数値標高モデル（DEM）作成マニュアル（案）」に基づき、地図情報レベル1,000までの作成に適用されてきた[1)]。今回、植生の繁茂する地域で、従来より精度の高いレベル500地形図の作成を行うため、より高密度で高精度な計測計画を立案する必要があった。

そこでまず、計測に当たって、データ取得密度の向上と均一化が図れるよう、低空、低速度で地形なりに飛ぶコンタクトフライトでの計測が可能な「ヘリコプター搭載型」を採用した。

さらに、波形の記録方式として、反射光の強度のみを不連続的に取得する従来型に比べ、反射光の波形自体を連続的に記録するため、データの取得精度の向上が期待できる「波形記録方式」を採用した（図－３）。



図－３　波形記録方式の概念図

レーザ発光数は、従来の２倍の20万回/秒が可能な最新機材を使用した。また、飛行高度について、繁茂した森林からの反射波を検知できる高さの上限は500m付近にあると推測されているが、今回は特に、事業区域周辺の植生繁茂状況を考慮して、高度を300mに設定した。

(2) 等高線図の作成

等高線図の作成は、次の手順により行った。

a) ３次元データ（オリジナルデータ）作成

計測データを統合解析し、空中ノイズの除去等を行い、３次元データを作成する。

b) グラウンドデータ作成

フィルタリング処理により、遮蔽物等の影響を除去してグラウンドデータを作成する。

c) メッシュデータ作成

グラウンドデータから任意のメッシュ単位に整理した数値標高モデル（メッシュデータ）を作成する。

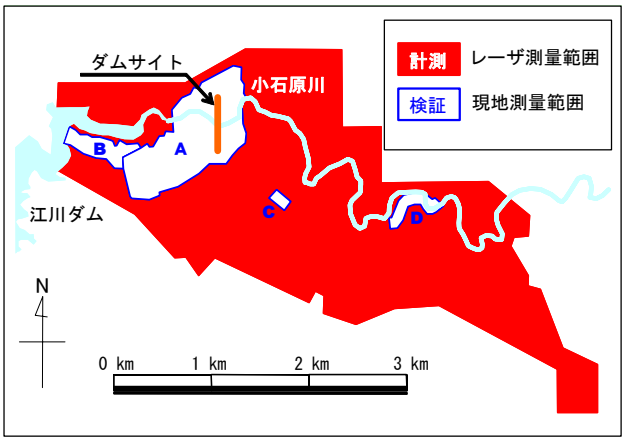
d) 等高線データ作成

メッシュデータを基に、標高値を持った線データである等高線データを作成する。

４．精度検証

(1) 精度検証の方法

事業区域内には、過年度までの現地測量により既にレベル500地形図が作成されている箇所があり、今回の航空レーザ測量は、それらを含み事業区域全体を包含するように実施した（図－４）。



図－４　測量エリアの位置図

航空レーザ測量による地図情報レベル500の地形図作成は国内で初めての試みであり、国土交通省公共測量作業規程（以下、「公共測量作業規程」）によってマニュアル化されていない測量手法により公共測量を実施することになるため、国土地理院の公共測量の承認を受けるに当たって、測量成果の精度評

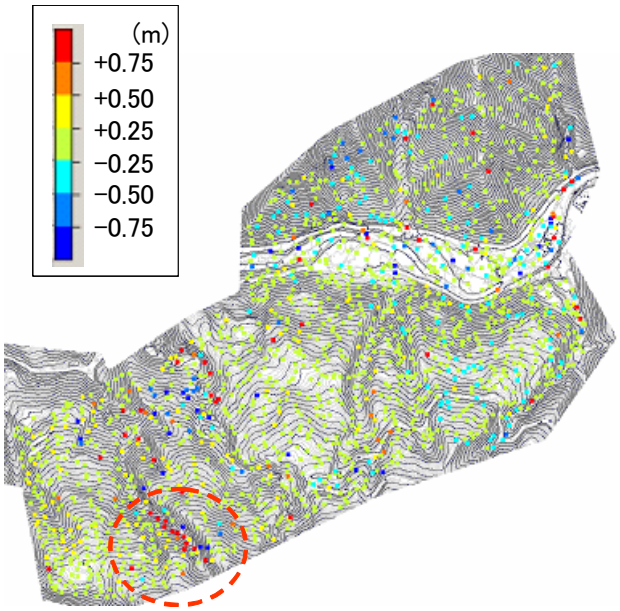
価及び作業マニュアルの策定が必要となった。

このうち、測量成果の精度評価については、過年度の現地測量の成果（以下、「実測成果」）と今回の航空レーザ測量の成果（以下、「レーザ成果」）を比較することで、信頼度の高い検証を行った。

検証の方法としては、実測成果の標高点の標高と、その位置に対応するレーザ成果の等高線データ上の標高値の比較を行った。検証の評価においては、公共測量作業規程における等高線の精度許容範囲である標準偏差±0.50m以内を基準とした[2)]。

(2) 標高差の精度検証

A地区における実測成果とレーザ成果との標高差の分布を図－５に示す。

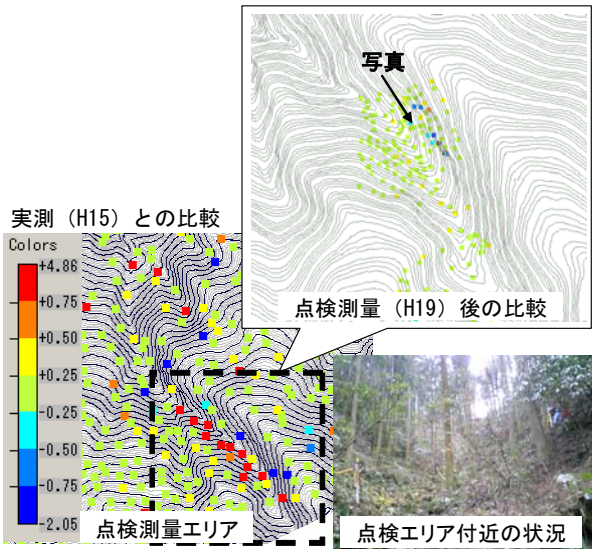


図－５　標高差の分布（A地区）

A地区の標高差の標準偏差は0.432mと基準である0.50m以内を満足しているが、やや大きい値となった。この原因としては、図中の赤い破線の範囲に標高差の大きい点が集中していることが挙げられる。そこで、この範囲について再度現地での点検測量を行った（図－６）。

その結果、点検測量後の実測成果とレーザ成果の標高差は、標準偏差で0.432mから0.210mまで改善された。このことからも、今回の航空レーザ測量は、実際の地形を正しく計測できているものと判断できる。

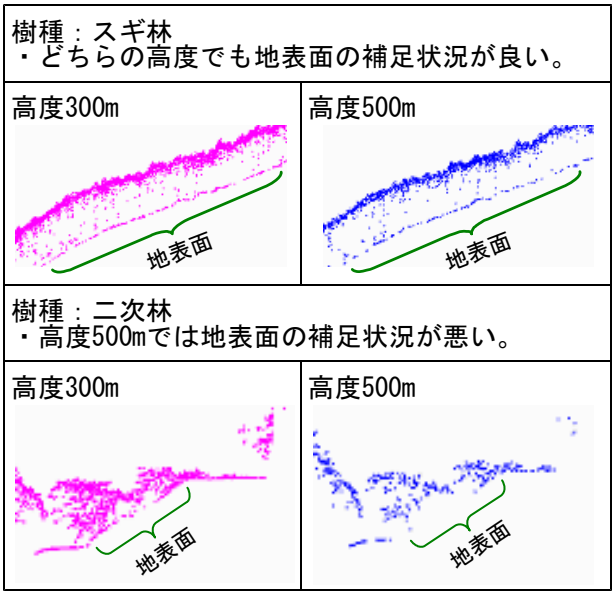
同様に他の地区（B,C,D）についても精度検証を行った結果、標高差の平均値で見ると数cmレベルの差（1.6～6.5cm）であり、標準偏差は許容範囲である±0.50mの範囲内（0.234～0.399m）となっていることから、いずれの地区においてもレベル500地形図の基準を満たす高精度なデータを取得できていることがわかった。



図－６　点検前後の結果比較

(3) 飛行高度の違いが精度に与える影響の検証

今回の計測では、対象範囲内の植生状況を考慮して、飛行高度を300mに設定した。一方、検証用に一部地区では高度500mからの計測をあわせて実施しており、両者により取得したグラウンドデータを、樹種の違いとあわせて比較した（図－７）。

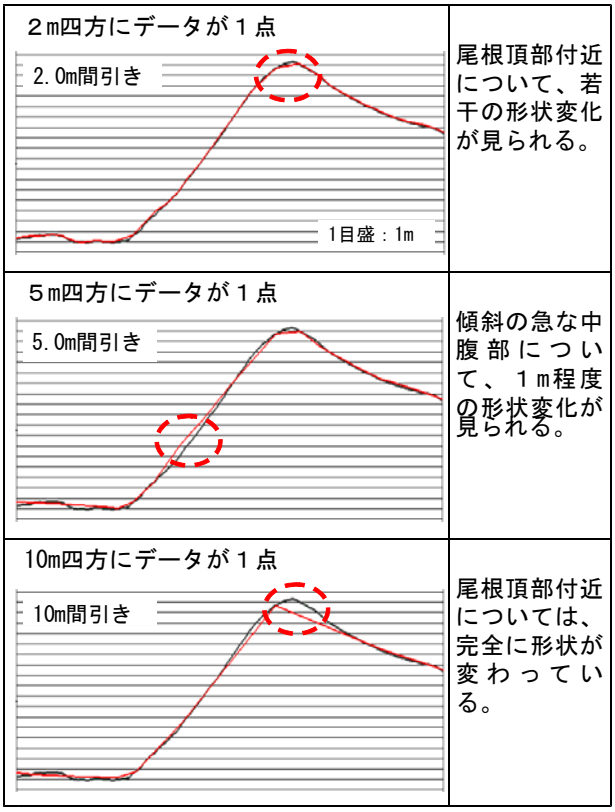


図－７　飛行高度別のデータ取得状況

スギ等の植林では、高度が500mでも地表面の補足状況が良い一方、二次林においては、高度500mでは地表面の捕捉が難しく、高度を300mにすることで捕捉状況が改善されており、植生状況によっては飛行高度を下げることの効果が確認できた。

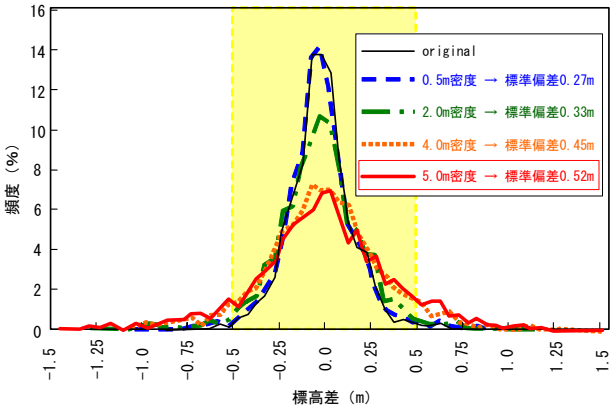
(4) データ密度の違いが精度に与える影響の検証

取得データの密度が精度に及ぼす影響を考察するため、間引き処理（意図的にデータ点数を間引いたもの）により作成した密度の異なるデータ群から地形図を作成した（図－８）。その結果、データ密度が粗くなると等高線や横断線も粗くなり、正しい地形を再現できなくなった。



図－８　データ密度と断面形状の関係

このことを定量的に評価するために、密度を変えて間引き処理を行ったデータ群から地形図を作成し、実測成果との標高差を前述した方法により比較した（図－９）。



図－９　データ密度の違いによる標高差分布

図に示すとおり、データ密度が４mを超えると標高差の標準偏差が±0.50m以内を満足できなくなることから、地図情報レベル500の地形図を作成するためには、データ密度として４m四方に１点以上が必要であることが確認できた。

５．まとめ

今回、小石原川ダムにおいて実施した航空レーザ測量の成果について、過年度の現地測量の成果と比較した精度検証により、公共測量作業規程における地図情報レベル500の精度を満たすとともに、現地測量による成果と同等の精度を有していることが確認できた。

また、計測条件を変えた検証において、レベル500地形図の作成に必要なデータ密度は４m四方に１点以上との定量的な指標を見出すことができ、これらを基に作業マニュアル（案）を作成した。

この精度検証の結果と作業マニュアル（案）をもって申請を行った結果、航空レーザ測量としては国内で初めて、レベル500地形図についての公共測量の承認を得ることができた。

６．　おわりに

ダム事業の事業区域は広く、必要な地形情報は、ダム本体関連の設計、付替道路や仮設備等の設計、貯水容量の確認等で事業区域全体に渡る。

事業の初期段階では、現地への立ち入りが制限されている場合があり、また、設計等にあまり高い精度を求めないことから写真測量の成果を使用し、事業の進捗に伴って現地測量を実施していくことが一般的であるが、この場合、同じ範囲内において事業段階に応じて縮尺精度の異なる地形情報を重複して取得することになる。

今回実施した航空レーザ測量では、ほとんど現地に立ち入る必要がなく、かつ、構造物の設計に必要な地図情報レベル500の地形データを一括で取得することが可能となる。従って、事業初期段階からの適用により事業の効率化やコスト縮減に繋げることができるため、今後のダム事業等における有効な地形情報の取得方法であると考えられる。

参考文献

1) 国土交通省国土地理院：航空レーザ測量による数値標高モデル（DEM）作成マニュアル（案）．
2) 社団法人日本測量協会：国土交通省公共測量作業規程（世界測地系対応版）．