

空中写真測量を用いた三次元数値地形データ作成 (地図情報レベル 1000)

折原 雄也・大坪 和幸・佐藤 智美・中山 悟 (株式会社パスコ)

1. はじめに

国土交通省が2016年度から導入した「i-Construction」により、調査・測量から設計・施工・維持管理のプロセスにおいて、生産性の向上に貢献するための三次元データ整備が行われている。測量分野においても、デジタル空中写真やUAV、レーザ点群測量といった測量機器の高性能化が進み、効率的に三次元座標データを取得できるようになったことから、高精度な三次元数値地形データの整備が急速に推し進められている。

i-Constructionのプロセスから、測量段階で得られた三次元数値地形データを利活用するためには、下記の二つが求められる。

一つ目は、標高データの高精度化である。築堤や橋梁などにおける設計段階でも利活用できるように、詳細な地形表現を行い、高精度を担保する工夫が必要である。

二つ目は、現況の再現性を高めることである。地形の変化点を明瞭に捉え、視認性を高く表現し、また、遮蔽部においても地形・地物を取得する工夫が必要である。

本稿では、高精細かつ高精度な三次元数値地形データ作成のため、空中写真測量を主として、様々な測量手法の長所を組み合わせた三次元数値地形データ作成の工夫について述べる。

2. 測量手法の概要

三次元数値地形データを作成する測量手法について、長所と短所を踏まえて説明する。まず一般的な空中写真測量は、高解像度写真を使用することで、詳細な地形表現が可能となる。

一方で、遮蔽部(橋梁下・樹木下など)を表現することが困難である。

次にレーザ点群測量は、上空(または地上)からレーザ光を照射し、その反射光の時間差から距離を測定する手法である。航空レーザ測量は、固定翼航空機や回転翼航空機(セスナ・ヘリ・UAVなど)を利用することから、広範囲の点群データを短時間で計測することが可能であるが、地形を詳細に表現する際に重要となる、地形・地物の変化点を明瞭に表現することが困難である。

一方、地上レーザ測量は、従来トータルステーションによる単点観測では不可能であった、面的な測量を可能としたが、データの取得範囲が比較的狭いため、広範囲の測量には適していない。

よって、広域な測量範囲においても、詳細な地形表現を追求した三次元数値地形データを作成するためには、多様な測量手法を組み合わせる必要がある。

3. 地域概要

本稿では、国土交通省関東地方整備局荒川調節池工事事務所(以下、事務所という)の発注業務から「荒川第二・三調節池測量図化業務」と「R3荒川第二・三調節池空中写真測量他業務」を事例とする。

当該事務所は、荒川中流域に位置し、広い河川敷がある地域特性を生かした調整池の整備が進められており、その事業の中で、様々な三次元データの作成や建設生産管理システム全体の効率化を図るDX(デジタル・トランスフォー

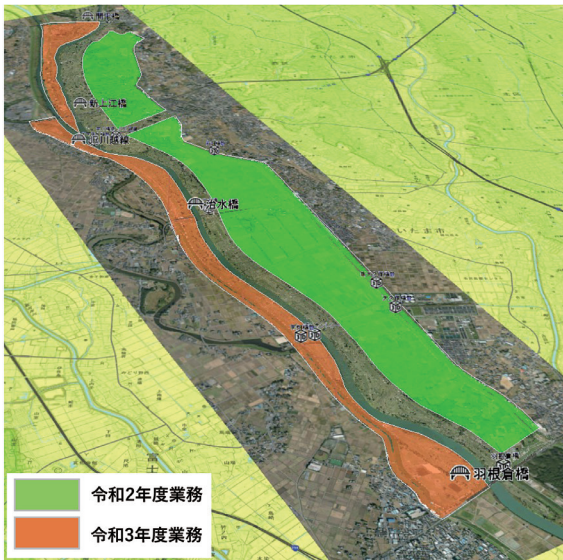


図3.1 位置図

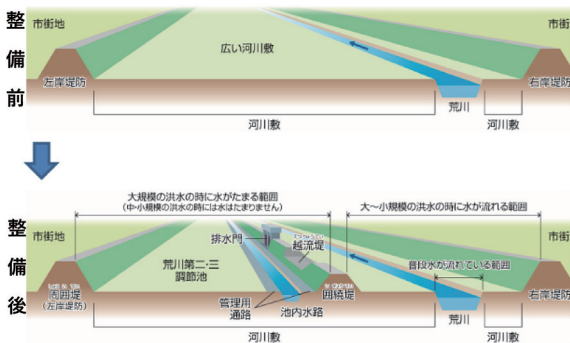


図3.2 事務所の取り組み

メーション)の取り組みを行っている。一方で、すべての三次元データの基盤となる数値地形データについては、平面図(二次元)で整備されていたことから、i-Constructionのプロセスにおいても利活用できる、三次元数値地形データの整備を提案し、2ヵ年に渡り業務を受注した。

4. 三次元数値地形データ作成の工夫

三次元数値地形データの作成フローと、主な工夫点を図4.1に示した。本稿では、作業工程ごとに三次元数値地形データの工夫について述べる。

① 現地踏査

二次元・三次元に関係なく、数値図化の業

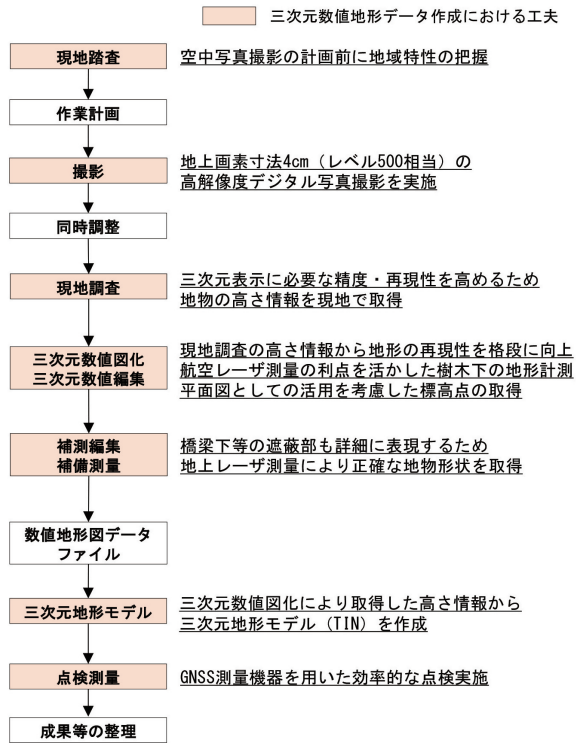


図4.1 三次元数値地形データの作成フロー

務計画を立案するうえで、現地踏査は重要である。現地踏査を行うことで、机上では判断できないことや、測量範囲の地域特性を把握することができる。例えば、事例の業務では、調整池の整備による経年変化が著しいことや、狭隘な水路が数多く存在していることが現地踏査によって把握できた。

② 撮影

空中写真撮影は、航空機の下部に取り付けた測量用カメラで隣り合う写真が重複するように撮影を行う。重複する二枚の写真を標定し、ステレオモデルを構築することで、数値地形データの作成が可能になる。事務所では令和2年度業務で空中写真撮影(地図情報レベル500相当)を実施していたが、現地踏査の結果から、地形変化が著しいことが確認できたため、既成の空中写真成果ではなく、新規撮影を行うことを提案した。また、事務所からの要求精度である地図情報レベル1000の解像度では、狭隘な水路の判読が困難と考えられ、地図情報レ

表4.1 撮影諸元

UltraCamEagle Mark3		
精度	地図情報レベル 500 (実施)	地図情報レベル 1000 (参考)
画素サイズ	4.0 μ m	4.0 μ m
焦点距離	100.5mm	100.5mm
撮影高度	1,005m~1,508m	1,759m~3,266m
地上画素寸法	4.0cm~6.0cm ※ 4.0cmで実施	7.0cm~13.0cm

ベル500に対応可能な4cm解像度で撮影計画を立案した。

③現地調査

現地調査は、数値地形データに必要な各種表現・名称等を現地にて調査・確認を行い、空中写真上に記入することで、数値図化に必要な資料を作成する工程である。一般的にデジタルステレオ図化機による判読で地形・地物を取得するが、作業員ごとに判読内容や精度のばらつきが生じる。そのため、本事例での現地調査では、精度・再現性を高めるため、三次元表示に必要な地形・地物の高さ情報を取得した。特にデジタルステレオ図化機で判読しにくい狭隘な水路に関しては、深さと幅を密に取得することにより、地形を詳細に表現した。



図4.2 現地調査結果の例

④三次元数値図化・編集

三次元数値図化・編集は、空中写真、現地調査結果を基に、地形・地物をデジタルステレオ図化機により表現する工程である。

一般的な数値図化では、平面図(二次元)であることから、等高線や標高単点を除き、高さ情報は不要であるが、三次元数値図化では、地形・地物の変化点に高さ情報が必須である。その際、図化判読に頼るのではなく、現地調査結果の高さ情報を用いて三次元数値図化を行うことで、現況地形の再現性が格段に向上する。

例えば、傾斜のある水路であれば、上端線を図化判読により取得し、下端線は現地調査結果の深さを採用する。

直被覆がある水路であれば、図4.3に示すように、上端線は図化判読により取得する。下端線は微小量内側へオフセットし、ブレイクライン(高さ情報を与える線)を挿入する。

この工夫により、詳細な地形表現が可能となる。

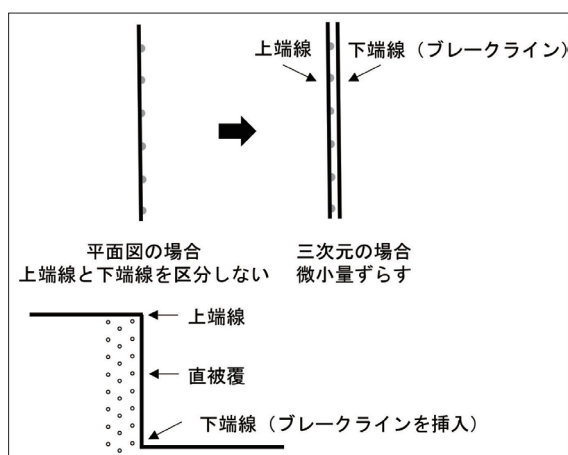


図4.3 ブレイクラインの挿入例

また、平面図としても活用することを考慮し、標高情報を田畑に一筆単点で取得し、加えて水路・堰の地形変化点にも追加した。これにより、平面図を目視した際も、地形判読や勾配把握が可能となる。

空中写真上で遮蔽部となる樹木下の地形・地物は、航空レーザ測量成果の等高線や微地形



図4.4 標高単点の取得例

表現図を参考にした。これにより、遮蔽部でも精度を担保できる他、樹木下の地形を計測できるレーザー測定の利点を活かして、河川構造物などの形状を表現することが可能である。事例の業務においても、既成の航空レーザー測量成果(地図情報レベル500)の等高線データを活用した。

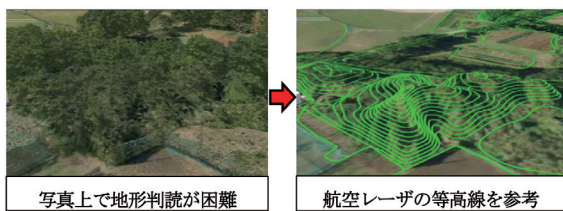


図4.5 航空レーザー測量成果の使用例

⑤補測編集(補備測量)

現地補測は、図化・編集で発生した不明箇所を補う工程である。遮蔽部については、空中写真上で判読ができないため、現地補測が必要である。ただし、通常の数値図化の場合、作業による目視確認や、明瞭な地物から距離と角度を測り、地形・地物を補うため、精度を担保することが困難である。

一方で、三次元数値図化の場合、例えば、橋梁下の道路・水路や法面等の地形・地物は、三次元データとして連続性を確保するだけでなく、精度も担保して取得する必要があることから、現地で補備測量を行うことが望ましい。事例の業務では、Leica Geosystems社製の地上レーザースカナ(表4.2)を使用し、点群データ

表4.2 製品仕様

地上レーザースカナの製品仕様	
メーカー	Leica Geosystems 社
名称	ScanStation P50
計測密度	1,000,000 点 / 秒 (最大)
測定範囲	最小0.5m - 最大1,000m
スキャン範囲	水平360度、鉛直290度
測距精度	1.2mm@120m

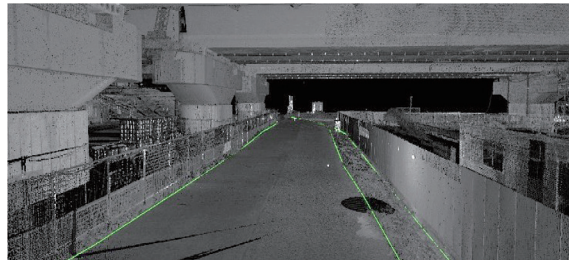


図4.6 地上レーザー測量による三次元数値図化

を面的に取得し、地図情報レベル500の三次元数値図化を行った。

⑥三次元地形モデル

空中写真上により取得した数値情報から三次元地形モデル(TIN)を作成する。

TINデータの品質を確保するためには、高さ情報を含めた三次元座標の一致を確実に行う必要がある。例えば、骨格となる道路、水路、被覆等の交差や横断する等高線を対象とした標高値の点検である。これらの点検を目視で行うことは困難であるため、論理点検プログラムを用いて、通常では行わない、標高値の点検まで行うことが望ましい。

事例の業務においては、論理点検プログラムの制限値を通常1.0mのところ±0mとして検査を実施した。これにより、不自然な凹凸を防ぎ、TINの品質を確保した。

⑦点検測量

数値図化では2%の点検測量を行う必要があるが、公共測量作業規程には、その手法について定められていない。一般的に、デジタルス

テレオ図化機上で、明瞭な地物等を2回連続して計測し、測定誤差が許容範囲内であるか否かの確認を行っている。しかしながら、この手法では、作業者の計測誤差の点検であり、地形地物との点検ができない。よって、数値図化と現況地形の比較による点検測量を行うことが望ましい。水平位置は三次元数値地形データ上で明瞭な地物を選定し、高さは標高単点を対象とする。これらの同一箇所をTSもしくはGNSS測量機器を用いて計測し、較差を確認する。TSを用いる場合は、与点を設ける必要があり、計測に時間がかかる。上空視界が確保されており、衛星の電波を受信できる環境においては、GNSS測量機器を用いた手法が効率的である。

事例の業務においては、GNSS測量機器を用いた単点観測法により計測を行い、表4.3に示す結果を得た。

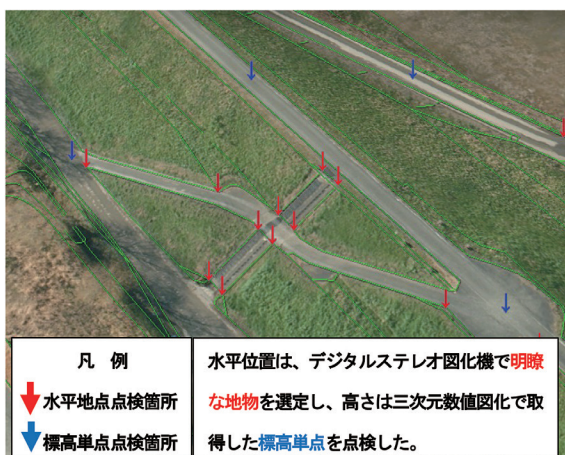


図4.7 点検測量箇所の選点例

水平精度は最大0.239m (制限値: 0.70m以内)、標高精度は最大0.22m (制限値: 0.25m)であり、地図情報レベル500 (水平・標高ともに0.25m以内) の精度を担保する結果となった。

5. おわりに

地形細部まで表現した三次元数値地形データの作成について工夫点を述べたが、空中写真測量を主とし、航空レーザ測量や地上レーザ測量などの利点を活かしたハイブリッドな測量手法により、高精度化を可能にしたといえる。

一方で複数の測量手法の併用による精度管理の煩雑化、費用の増加などの懸念もあるため、測量技術に対する十分な知識・経験・理解が技術者に求められる。

最後に事例業務の成果についてICT施工やBIM/CIMへの活用事例の一部を紹介する。図5.1は河川管理に関わる構造物(樋管)の三次元モデルデータを作成し、システム上で三次元

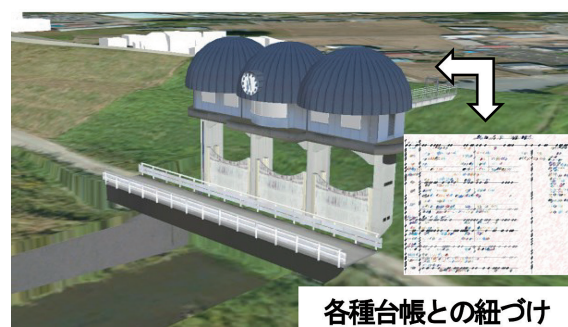


図5.1 三次元モデルデータの例(樋管)

表4.3 点検測量結果

水平精度の点検 (単位: m)							
点名	1	2	3	4	5	6	7
点検箇所数	25	25	25	25	21	25	25
点検結果 (標準偏差)	0.094	0.05	0.08	0.107	0.074	0.104	0.089
点検結果 (最大値)	0.187	0.11	0.199	0.239	0.132	0.213	0.185

標高精度の点検 (単位: m)							
点名	1	2	3	4	5	6	7
点検箇所数	25	25	25	25	25	25	25
点検結果 (標準偏差)	0.06	0.09	0.08	0.09	0.07	0.08	0.07
点検結果 (最大値)	0.15	0.18	0.18	0.19	0.15	0.22	0.17

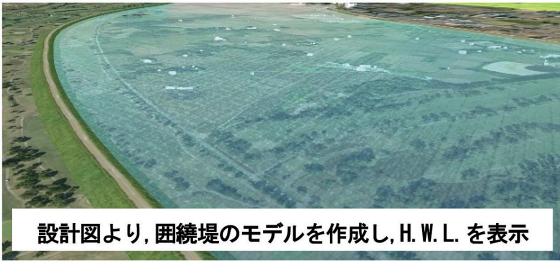


図5.2 囲繞堤の三次元モデルとH.W.L.表示

数値地形データと重ね合わせた例である。平面としての位置情報はもちろん、高さ等の空間的視認性が向上する。また、構造物内部まで詳細モデルで再現し、各種台帳等の情報を紐づけることで、維持管理に必要な情報を直観的かつ効率的に検索可能となる。

図5.2は設計段階の囲繞堤の三次元モデルデータを作成し、計画高水位 (H.W.L.) を発生させた例である。同じく可視化により視認性が格段に向上するため、関係者への説明や理解が促進され、合意形成の迅速化が期待できる。

6. 謝辞

本論文の作成にあたっては、国土交通省関東地方整備局荒川調整池工事事務所の「荒川第二・三調節池測量図化業務」および「R3荒川第二・三調節池空中写真測量他業務」を事例として戴いた。ここに感謝の意を表する。

付記

本稿は、第44回測量調査技術発表会 (2022年9月) の発表内容に、改良と検討を加えたものである。

参考文献

国土交通省関東地方整備局荒川調整池工事事務所：事業内容・諸元

<https://www.ktr.mlit.go.jp/araike/torikumi/jigyuu.htm> (2023/1/10参照時点)

執筆者

折原 雄也 (おりはら ゆうや)

株式会社パスコ 東日本事業部

技術センター 国土情報部

地理情報四課



(共著者)

大坪 和幸 (おおつぼ かずゆき)

株式会社パスコ

東日本事業部 技術センター 国土情報部

地理情報一課

佐藤 智美 (さとう ともみ)

株式会社パスコ

東日本事業部 技術センター 国土情報部

地理情報四課

中山 悟 (なかやま さとる)

株式会社パスコ

東日本事業部 技術センター 国土情報部

地理情報二課