

UAV 計測の精度検証および利活用の検討 — 新潟荒川河口における事例 —

河合 利巳・坂口 貞彦・橋本 英忠・村上 桂山（朝日航洋株式会社）
近藤 栄一・今井 達也（国土交通省北陸地方整備局）

1. はじめに

近年、UAVによる空中計測が注目されるようになり、国土交通省が推進するi-Constructionを中心に普及しつつある。測量分野でも、精度検証や実証実験が多く報告されているが、実際の測量業務に利用された事例はそれほど多く見受けられない。本稿では、新潟荒川河口を対象に、取得した空中写真や三次元地形モデルの検証を通じて、UAVによる既往測量手法の代替可能性や、利活用の課題を模索した結果を報告する。

2. 作業概要

対象地である荒川河口は新潟県の胎内市と村上市の境界に位置する。河口部では、砂州が右岸側から河道を横断するように発達しており、季節や河川状況に応じてその形状が刻々と変化している（図1）。河口一帯では、河川モニタリングの一環として河口砂州の状況を把握するための測量作業（汀線・地形測量、横断測量、UAV空中写真撮影）が定期的に行われている。



図1 荒川河口部俯瞰写真

今回の検証では、この測量作業において2カ月に一度実施されているUAV空中写真撮影（撮影高度400m）を拡張し、撮影高度200m、100m、50mで撮影した写真からオルソ写真と三次元地形モデルを作成した。これらを基に、各撮影高度での計測精度を求め、さらに既存の実測成果図面に対応する図面を作成することで、UAV計測が既往測量作業を代替可能か検証した。

3. 作業方法

検証は図2に示す手順で実施した。

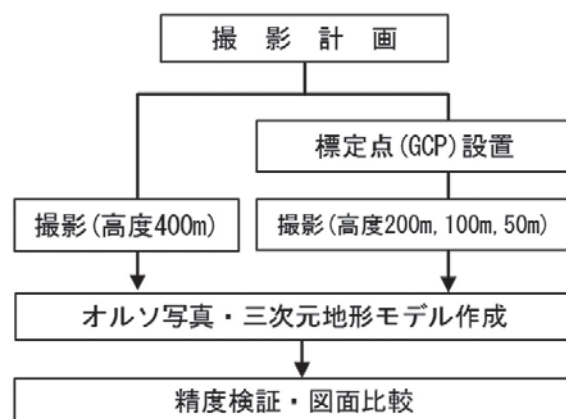


図2 検証フロー

3.1 UAV計測

本検証の撮影は、2カ月に一度実施している対地高度400mでの撮影と、追加で実施した高度200m、100m、50mでの撮影から構成される。撮影計画は、時間的な制約や実測作業との兼ね合いから、撮影時期や標定点位置を統一せずに、撮影高度別に立案した。図3に標定点の配置箇所を示す。撮影高度400mでは道路白線やマンホールなど人工物を利用し、200m以下

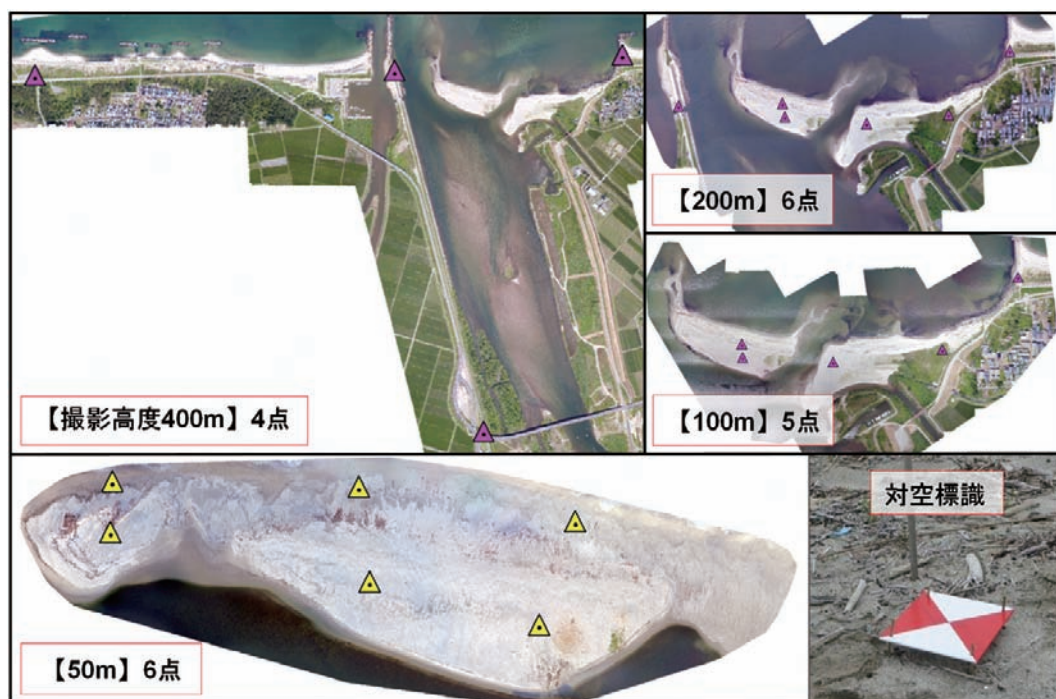


図3 標定点配置図



図4 UAV外観

では対空標識を設置した。標定点の位置座標は、GNSS測量機器によりネットワーク型RTK方式で計測した。

本検証の撮影作業に使用したUAVはDJI社のInspire1、カメラは同社のZENMUSE X5 (FC550) である。撮影機器の外観を図4に、諸元を表1に示す。

撮影は高度200mを2016年7月11日に、400mと100mは翌12日に、50mは同年11月16日に実施した。なお、航空法に従い高度150m以上の飛行では申請を実施して航空情報 (NOTAM: Notice To Airmen) を発行した。

表1 UAVとカメラの諸元

	項 目	性 能
UAV	機体重量	3400g
	最大速度	18m/s
	運用限界高度 (海拔)	4500m
	最大フライト時間	約15分
	動作環境温度	-10 ~ 40℃
カメラ	センサ	Type4/3 CMOS 有効画素数: 16M
	レンズ	DJI MFT15mm f/1.7
	ISOレンジ	100 ~ 25600
	シャッター速度	8s ~ 1/8000s
	画像サイズ	4608×3456
	ファイル形式	JPEG、DNG

3.2 オルソ写真と三次元地形モデルの作成

撮影した画像ファイルを三次元形状復元ソフトウェアのPix4Dmapper (Pix4D社) で解析し、オルソ写真と三次元地形モデルを作成した。解析における画像上の標定点観測以外の作業はソフトウェアの自動処理にて実施した。設定値はソフトウェアの推奨設定を適用し、カメラの内部標定要素はセルフキャリブレーション機能によって求められた結果を利用した。

これら作成データの解像度は、カメラ諸元と

撮影高度から算出した最小値を設定した。また、三次元地形モデルについては、点群データ（ファイル形式：ASCII・LAS）とDSM画像の2種類を作成した。

3.3 精度検証及び図面作成

作成したオルソ写真と三次元地形モデル（点群・DSM）を基に、精度検証を実施するとともに、成果図面を作成した。精度検証は水平（XY）と標高（Z）について、トータルステーションで測定した標定点及び標高点の成果を利用して、同一位置における較差からRMSEを算出

することで実施した。

成果図は、UAV作成データを基に作成し、既存の実測図面との比較を行った。図5から図8に示す4種類の実測図面に対して、品質や視覚的な表現性を比較した。

① 砂州横断面図

砂州横断面図は、通常、砂州上に設定した横断測線（図5左上の赤線）の直接水準および水部の深浅測量結果から作成される。本検証では、UAV計測によって作成した三次元地形モデルから横断面を切り出し作成した。

② 汀線（地形）図

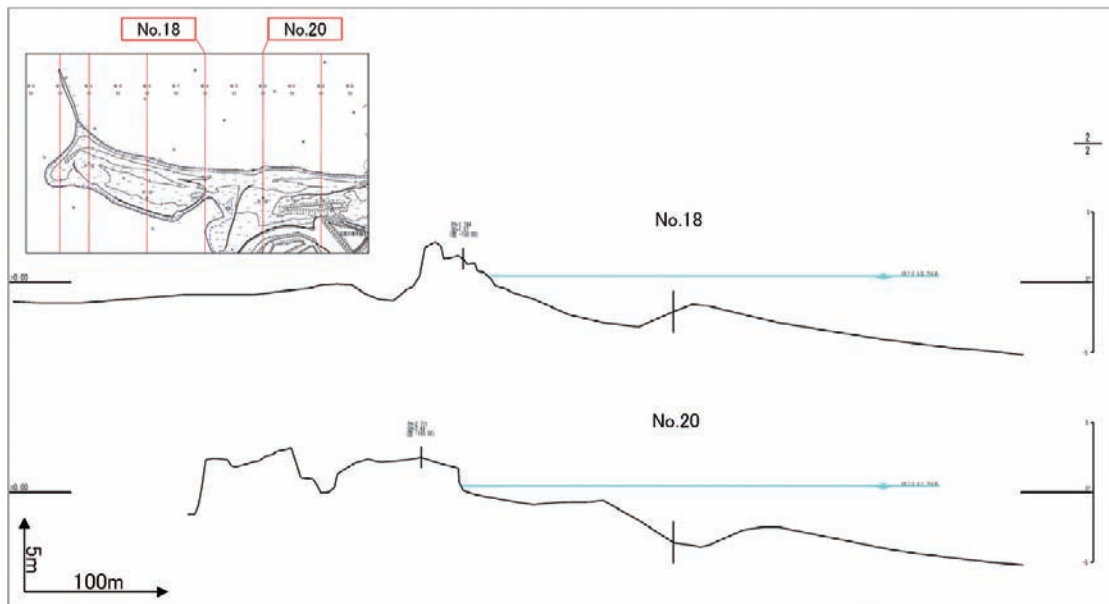


図5 砂州横断面図

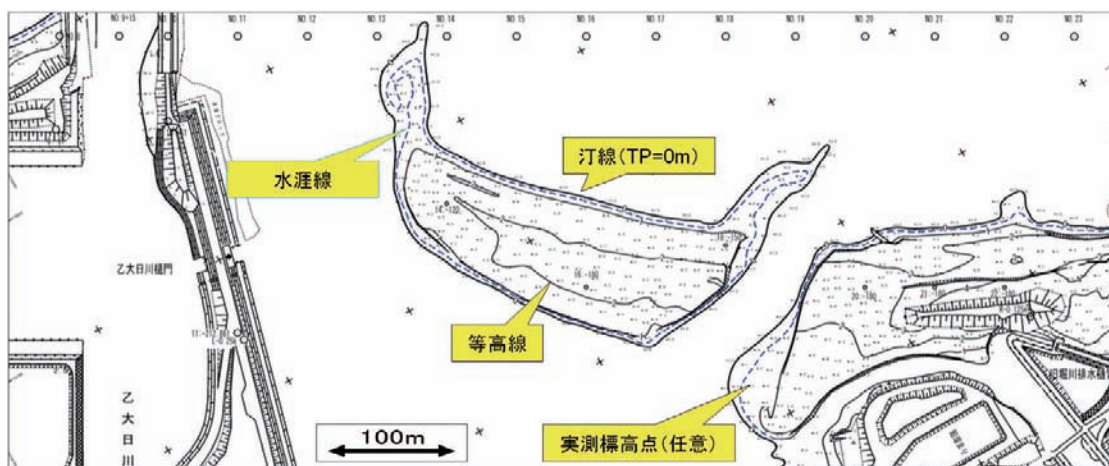


図6 汀線（地形）図

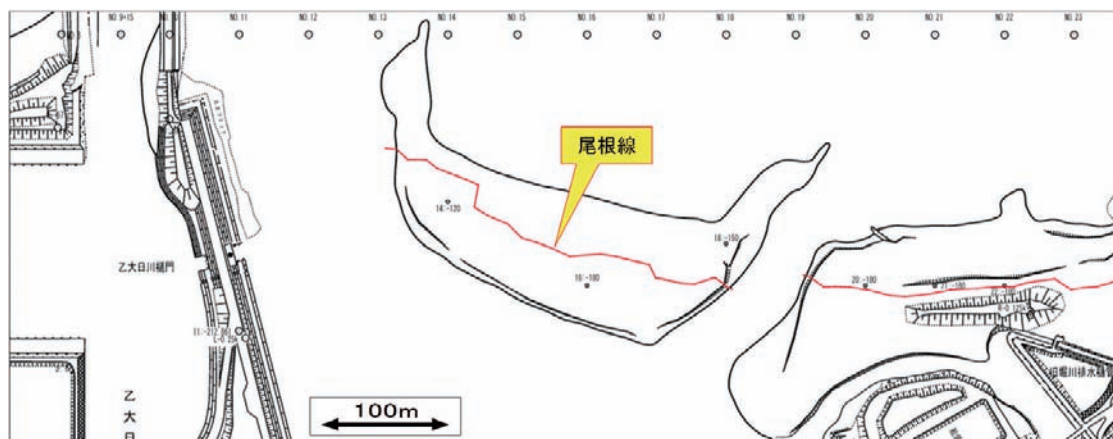


図7 尾根線平面図

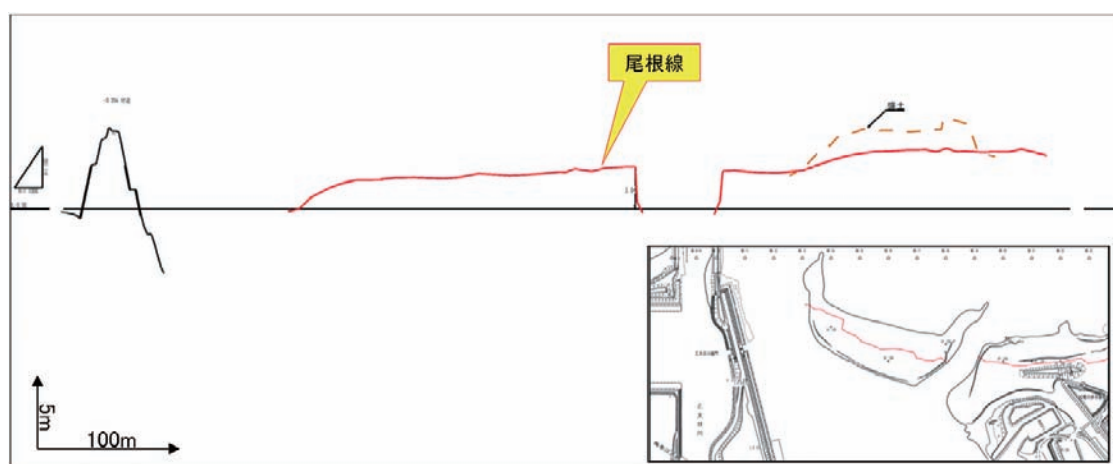


図8 尾根線断面図

汀線（地形）図は、トータルステーションによる実測標高点を基に、等高線（汀線）と水涯線を描いた図面である。今回は、等高線を三次元地形モデルから自動発生させ、水涯線はオルソ写真から判読することで作成した。

③ 尾根線平面図

尾根線平面図は、汀線（地形）図の等高線と標高点をもとに、砂州の尾根線を描いた図面である。本検証では、GISソフトウェアの地形解析と、自動発生させた等高線をもとに尾根線を作図した。

④ 尾根線断面図

尾根線断面図は、尾根線上の標高を実測標高点から取得して断面にプロットした図面である。本検証では、三次元地形モデルから尾根

線上の標高値を抽出して作図した。

4. 結果

4.1 作成データ

4.1.1 オルソ写真

作成したオルソ写真の概要を表2に示す。撮影高度の低下に伴い、オルソ写真の解像度（識別性）は向上している。40cm角の対空標識では、撮影高度200m（地上画素寸法5.0cm）において白黒クロスを認識できた。

4.1.2 三次元地形モデル

表3に作成した三次元地形モデルの概要を示す。DSM画像の解像度には、オルソ写真と同じ値を設定した。点群密度は、総点数を撮影

表2 オルソ写真概要

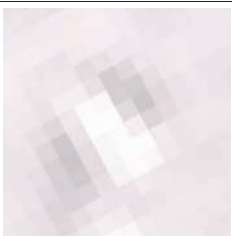
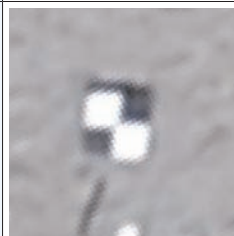
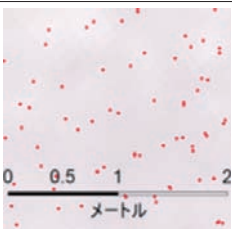
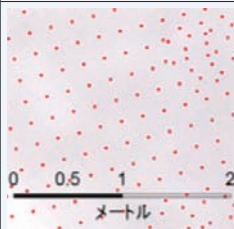
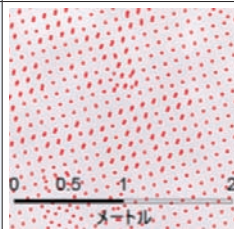
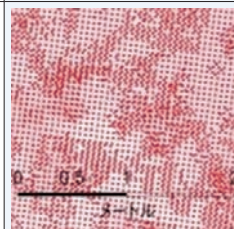
撮影高度	400m	200m	100m	50m
撮影日	7月12日	7月11日	7月12日	11月16日
撮影面積 (㎡)	2,970,000	461,400	247,500	30,970
地上画素 (cm)	10	5	2.5	1.25
対空標識 (40cm角)				

表3 三次元地形モデル概要

撮影高度	400m	200m	100m	50m
地上画素DSM (cm)	10	5	2.5	1.25
点群密度 (点/㎡)	7.6	25.9	137.3	1197.5
図上				

面積で除して求めた。点群密度は、撮影高度の低下にともない、指数関数的に高くなる傾向を示した。これは画像分解能の向上により、Pix4Dmapperが検出できる画像特徴点の数が増加したためと考えられる。

表4 取得データ精度 (m)

撮影高度	X	Y	水平	Z
400m	0.143	0.197	0.25	0.723
200m	0.053	0.033	0.07	0.093
100m	0.041	0.035	0.05	0.044
50m	0.032	0.031	0.05	0.017

4.2 精度検証

表4は各撮影高度における精度をXYZ各成分のRMSEで示したものである。撮影高度が低くなるほど地上画素寸法が高解像度化するため、全成分の精度が向上した。水平成分のXY精度は類似する傾向を示した。一方、標高成分Zは向上の度合いが顕著であり、撮影高度50mでは水平成分を上回る結果を示した。これは、点群密度の場合と同様に、分解能の向上が画像マッチング処理で肯定的に作用したためと考えられる。本検証の結果、撮影高度200m以下(解像度5.0cm)であれば、UAVを用いた公共測量マニュアル 第12条に規定される位置

精度基準(地図情報レベル250: 水平0.12m、標高0.25m)を概ね満たせることが分かった。一方、同マニュアルでは、土量管理での利用を想定した三次元点群測量の位置精度を、平面及び標高ともに最大0.05m以内と規定している。この基準に照らし合わせると、撮影高度100m(解像度2.5cm)以下で計測する必要がある。

図9はオルソ写真の鳥瞰図に、実測した標高点とUAV計測による三次元地形モデルとの較差を示すバーを配置したものであり、較差の空間的な分布を確認できる。この図から、水際から水面下にかけての部分や植生繁茂部に大

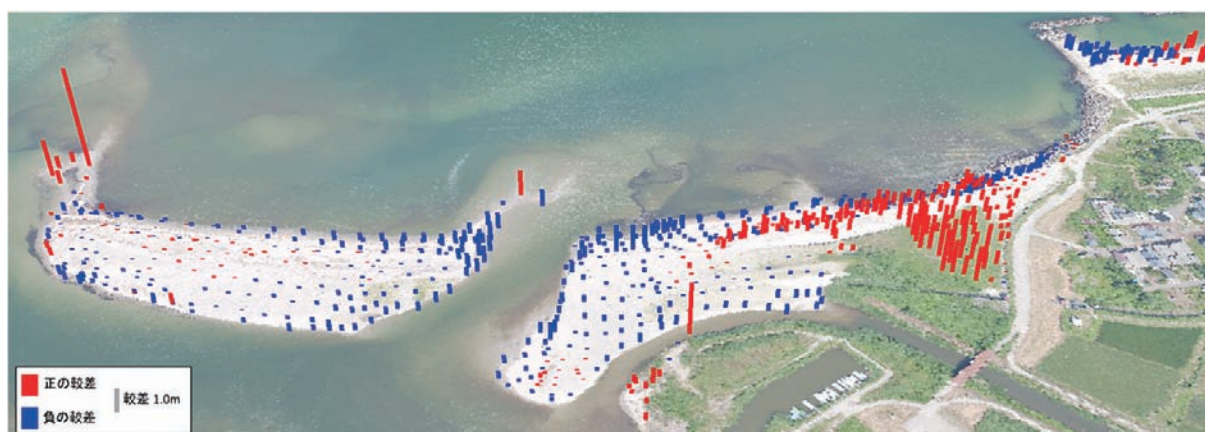


図9 標高較差の分布状況

大きな較差が生じていることが分かる。水際の大きな較差は、波の動きにより像の安定した写真が撮影できなかったために発生したものと考えられる。また、植生部の較差については、地面と植物の草丈の差が表れたものである。

4.3 成果図比較

4.3.1 砂州横断面図

図10は図5に示した砂州横断測線No.20について、実測とUAVデータから作図した横断面図を重ねたものである。青実線がUAVデータ、黒破線が実測地形を示している。この図から、裸地部の地形はUAVデータと実測で良好な一致を示している。さらに、数メートルピッチの実測と比較してUAVデータはより詳細な地形変化を表

現できていた。海部ではミスマッチングから大きな誤差が発生し地形を計測できていないが、水深0.5m程度の小川では川底の地形を取得できていた。また、図10の左側の植生部では植生表層の高さが計測されていることが分かる。

4.3.2 汀線（地形）図

図11は実測とUAVデータからそれぞれ作成した汀線（地形）図を並べたものである。UAVでは、水面下に位置する汀線を計測できず、断片的かつ不正確な形状になっている。一方、地上の等高線と、オルソ写真から判読した水涯線は概ね一致した。

また、実測図面では現地で判断した地形変化点を任意に観測し図化しているが、UAV成

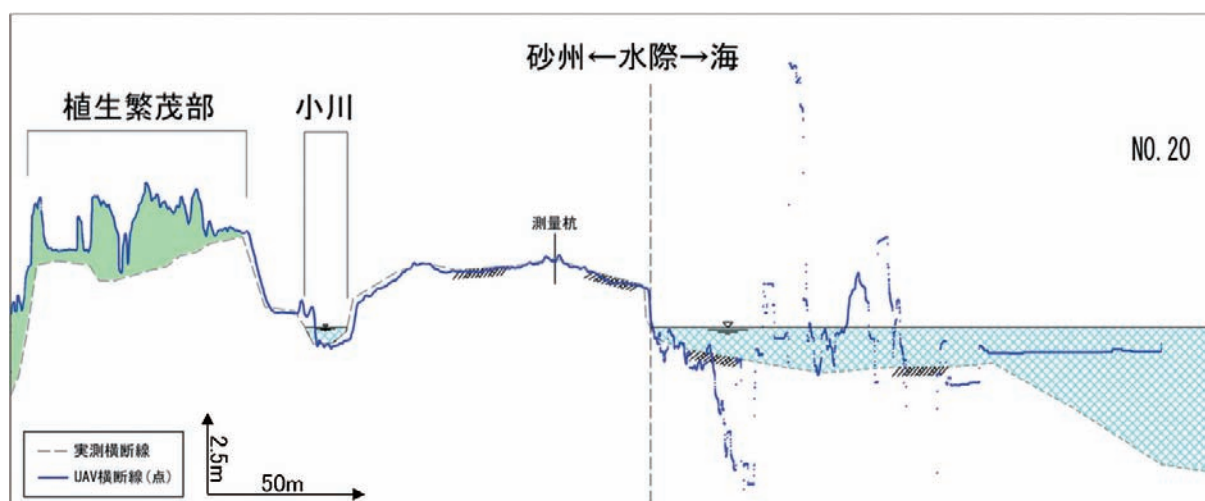


図10 砂州横断面図の比較

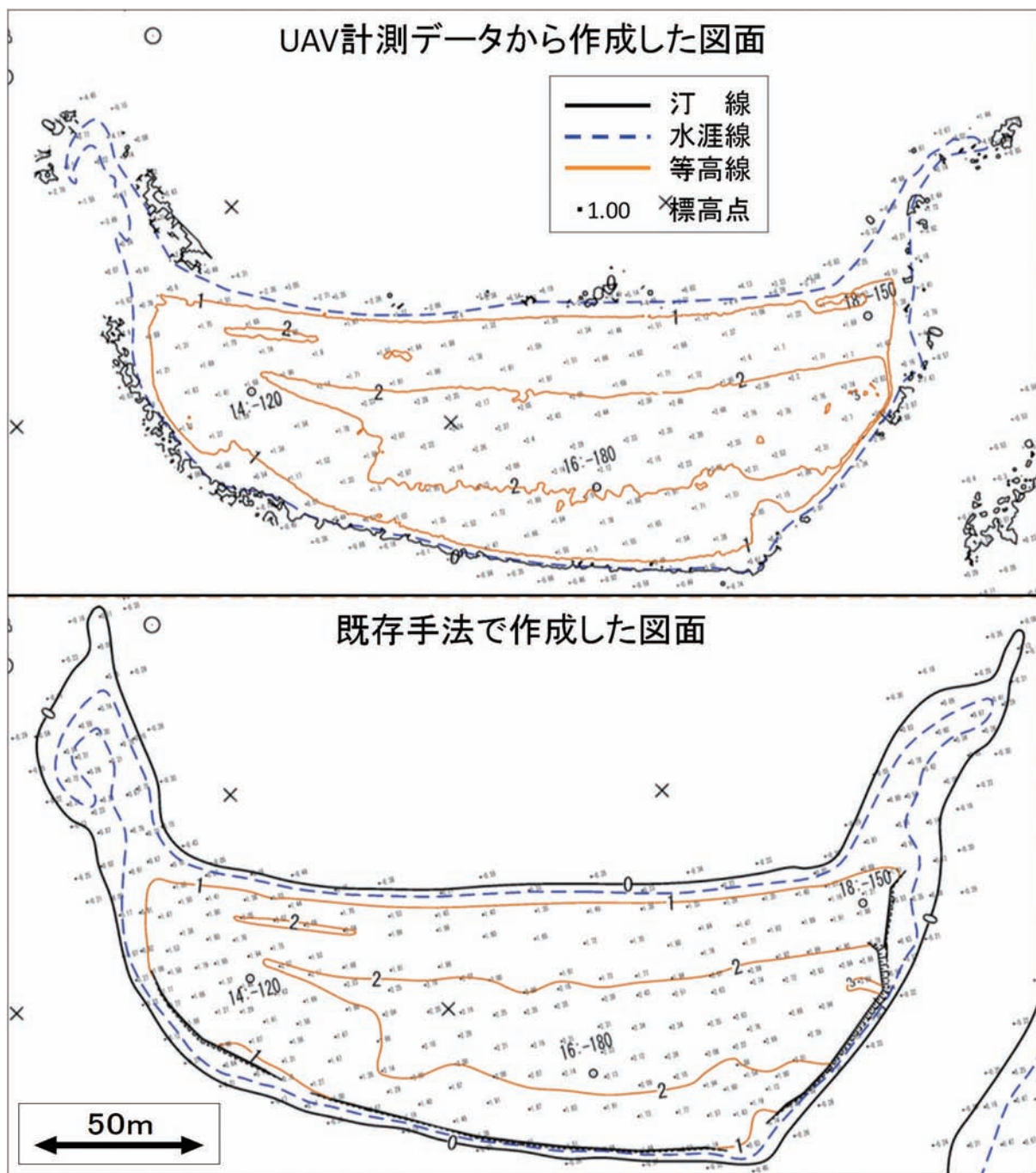


図11 汀線（地形）図の比較

果図面では点群データをランダムに低密度化して作成したため、地形変化点を選択的に図化することができない。

4.3.3 尾根線平面図

図12は、実測とUAVデータから描いた尾根線をオルソ写真上に表示し、比較したものである。砂州上の尾根線形状は概ね一致したが、変化

点の場所などで微妙な違いが見られた。これは、2つの手法の計測点密度の差によるものと考えられる。また、図右側の盛土箇所、尾根線形状が大きく異なっている。これは、実測成果図面では、盛土箇所を意図的に除外した尾根線を描画しているのに対して、UAVデータの成果図面は半自動処理で作図されているため、これらの地形が区別されていないためである。



図12 尾根線平面図の比較

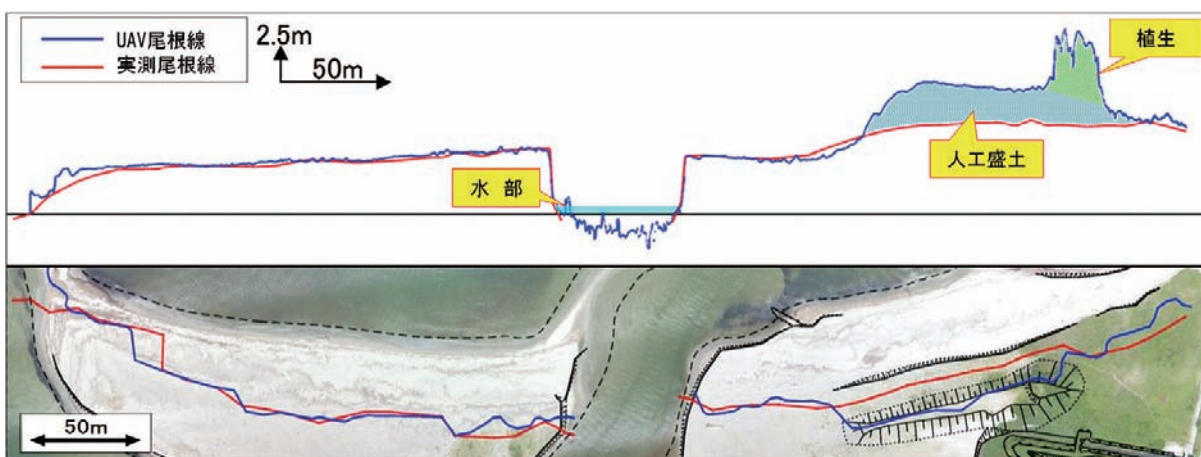


図13 尾根線断面図の比較

4.3.4 尾根線断面図

図13は実測とUAV成果から作成した尾根線断面を比較したものである。荒川の河口砂州では、流下能力維持の観点から標高1.5m以上の箇所が重点把握の対象となっている。そこに該当する尾根線部は、実測成果とUAVデータが概ね一致していた。砂州裸地部の一致度合が良好な点や植生、水部の標高がUAVデータでは取得できない点は、その他の図面と共通した結果である。

5. まとめ

5.1 検証を通じて

精度検証の結果から、UAV計測で取得したデータは、大縮尺図面での地形表現に利用可能な精度であることが示された。また、撮影範

囲全域のオルソ写真と三次元地形情報が汎用的なデータ形式で得られるため、既存手法と比較して河川管理に関する詳細かつ多様な情報を得ることが可能である。しかし、海や植生部など地面が露出していない場所の標高は正しく取得できず、写真測量の原理的な制約も確認できた。また、解析ソフトの手順に沿うだけで、高密度の地形情報を容易に得られる利便性を実感できた一方で、成果図作成の工程には時間を要した。これは膨大な量の点群情報を地図表現に適した水準に間引く作業に苦慮したためである。これらの点から、空中写真撮影によるUAV計測は、実測による既往測量手法を単純に代替し得るものではなく、計測の目的や対象地の状況に応じた使い分けが重要であると考えられる。

5.2 今後の展望と課題

本検証の対象地は、三方が水域で地表面の特徴に乏しい砂地であるため、写真測量や画像処理の面で不利な条件であったにも関わらず、一定水準の精度を達成できた。この点を考慮すると、条件が良い撮影適地の選択や、撮影計画、解析処理の最適化によって、さらなる精度向上が可能と考えられる。また、水部でも小川や砂州川側の標高を取得できていたことから、水面下数十センチの汀線であれば、現像処理の工夫によって計測できる可能性が示唆された。図面作成の工程についても、編集・作図手法の確立やソフトウェアによる支援の拡充によって省力化が進むと思われる。

UAV計測はリモートセンシングの一種であるため、対象エリアの立ち入りの安全性が確保できない状況下でも上空から観測を行えるという利点がある。今回の事例においても、河口砂州で実施される測量作業が波浪の影響で中断する状況下でも、UAV撮影を継続できたケースが何度かあった。これは既存の測量手法に対する大きな優位性であり、災害対応等での活躍が大いに期待される。また、従来はコスト面で空中写真の定期撮影が難しかった中小規模の農林業や学術研究での活用も考えられる。今後の課題として、計測対象地の地形・地表面状況などの条件（地形・地表面状況）に応じた最適な撮影・解析手法の検証や、効率的かつ効果的な成果作成手法の確立などが挙げられる。

■参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：UAVを用いた公共測量マニュアル（案）
<http://www.gsi.go.jp/common/000186712.pdf>
- 2) 国土交通省国土地理院：公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）
<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/>

uav/doc/anzen_kijun_160330.pdf

- 3) 国土交通省：空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理容量（土工編）（案）
http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/doc/anzen_kijun_160330.pdf
- 4) 近津 博文・小高 明彦・柳 秀治・横山 大：“UAV写真測量における三次元モデリングソフトウェアの性能評価”、写真測量とリモートセンシング 2/2016、(pp.117-127)
- 5) 基本図情報部 早坂 寿人・大野 裕幸・大塚 力・関谷 洋史・瀧繁幸：“UAVによる空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証”、国土地理院時報 2015 No.127、(pp.107-116)
- 6) 北陸地方整備局羽越河川国道事務所：荒川水系荒川河川維持管理計画
<http://www.hrr.mlit.go.jp/uetsu/contents/newinfo/release/2011/120330-2data.pdf>

■執筆者

河合 利巳（かわい としみ）

朝日航洋株式会社



（共著者）

坂口 貞彦（さかぐち さだひこ）

朝日航洋株式会社

橋本 英忠（はしもと ひでただ）

朝日航洋株式会社

村上 桂山（むらかみ けいざん）

朝日航洋株式会社

近藤 栄一（こんどう えいいち）

国土交通省北陸地方整備局

今井 達也（いまい たつや）

国土交通省北陸地方整備局