

河川の維持管理に有効な新手法 ～高精度UAVと測深ボートの活用～

荒木 寿徳¹

¹株式会社アース・アナライザー (〒623-0115京都府綾部市測垣町蛭子谷27-1)

近年、ドローンと呼ばれる小型無人航空機（以下、「UAV」という。）による様々な計測結果の利活用が実践されてきており、その実証データは既に一定の評価を受けている。しかしながら未だ計測不可能とされている箇所や計測に不向きとされている箇所も多く、特に直壁や落差の大きい法面などは正確なデータを取得するのに非常に苦労している。

また、河川等の深浅測量においてはグリーンレーザー搭載UAVや超音波測深器搭載の人力ボートを用いる実証データが出てきているものの、残念ながら深部においては計測できなかつたりコスト高により実用に至らないケースが見られている。

本検討では、高精度（位置制御型）UAVを用いて直壁や法面の正確な形状変化の測定方法を提案するとともに、深浅測量には人が持ち運べる程度の小型で扱いやすい自動航行ボートを用いて10m以深の深部までの計測と低コストを実現する手法を提案するものである。

キーワード 維持管理, 防災, 新技術, UAV

1. はじめに

河川管理では通常5年に1回周辺の地形及び砂洲や水深データを維持管理のために計測しており、特に重要な河川においては2年に1回など頻度を上げた計測が実施されている。その手法は横断測量を200m毎の測線で行い、広域に渡っては高い高度からレーザー計測を行うというものを組み合わせている場合が多い。

最近では水深の計測には周辺地形と水深が同時に計測できるグリーンレーザーが利用されているが、水の濁度が高い所や深い場所では十分な測定が出来ないという難点がある。

本検討ではその両方を解決もしくは補う手法として周辺地形データを取得する高精度ドローンと濁度に関係なく深部まで測れる測深ボートを実証実験しその成果をまとめ今後の技術課題についても考察した。

2. 測定する場所

(1) UAV+測深ボートによる測定

地上の測定をUAVで行い水中の測定を小型軽量測深ボートで行う。地上データと水中データを別々に取得するが、両データを一元化して実証調査する。河川の変状を把握するには一元化されたデータの方が有用であり、維持管理のためにも統合されたデータになっている方が望ましい。

そして測定する箇所は、上空からの計測ではデータが得にくい護岸などの箇所、かつ水中部分は水深10m以上で濁度も高く計測しづらい場所を選んだ。一級河川由良川の下流部では護岸構造物として高さ7mの直壁護岸があり、川の水深も約10m程度の場所で行うこととした。
(図-1)



図-1 由良川下流部（京都府舞鶴市中山）

(2) UAV測定と設計モデルとの比較

2. (1)の測定箇所とは別の場所であるが道路の補強土壁兼河川の護岸となっている擁壁に沈下が見られる箇所があり、UAVで構造物を計測した点群データがどれ程

“使えるデータになるのか”を実証するため、実証実験を試みた。この場所の経緯について少し触れておくと、堤防が乗越道路となっている部分の擁壁で、堤体となっている道路部分が沈下を起こしている。沈下量の測定や影響範囲について既に現地調査は終わっているが比較検討できるためこの場所での計測を実施した。(図-2)



図-2 由良川下流部(京都府舞鶴市大川)

3. 使用する機体及び船体

UAVは高いRTK-GNSS測位を実現しているSeptSOIを搭載して自由自在に飛行プログラムを設定できる「高精度自動離着陸・航行ドローン」¹⁾を使用する。(図-3)

測深ボートにはライトバンに積み込めるサイズのコンパクトな船体にパッチテスト等を必要としないシングルビーム測深器を搭載したボートを採用した。(図-4)



RTK-GNSS : SeptSOI
 重量 12.8kg
 搭載カメラ
 有効画素数 : 2000万
 焦点距離 : 22~200mm
 (レンズ交換式)

図-3 高精度自動離着陸・航行ドローン



RTK-GNSS : SeptSOI
 重量 : 10.0kg
 測深器 : 400kHz シングルソナー
 最大航行速度 : 8m/sec
 計測時航行速度 : 2m/sec

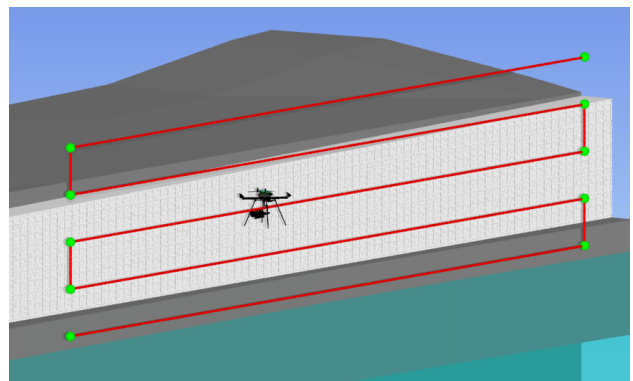
図-4 測深ボート

4. 計測方法

(1) UAVの場合

通常の中空写真測量は対象範囲の上空を平面的に飛行し真下を撮影する事がほとんどであるが、図-5にあるように対象に正対して撮影する手法を試みる。対象となる擁壁との距離は10mで図中の赤線は飛行コースを示す。UAVは立体的な飛行プログラムで自動航行し、写真のラップ率を担保するよう速度と測線を設定する。(進行方向80%以上, サイドラップ60%以上)²⁾

この測定方法で飛行する事で上空からでは死角となる凸凹の下部やそこでの点群密度の低さを解消する狙いがある。



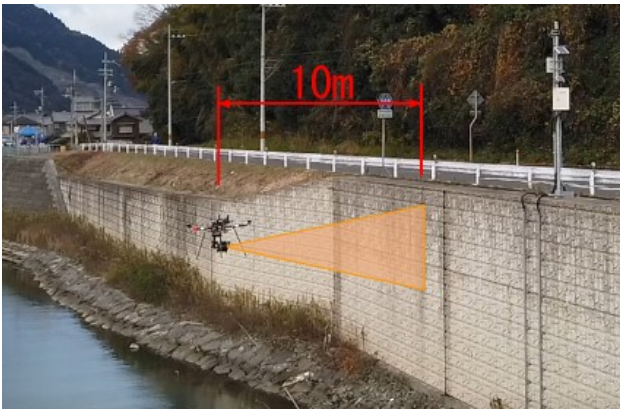


図-5 UAVの計測方法



図-7 UAVで計測した点群データ (地上データ)

(2) 測深ボートの場合

測深ボートの場合には測深器がシングルビームであるため測定できる範囲はマルチビームに比べて非常に狭い。よって測定するには細かい測線を設定する必要がある。今回の実証実験では音響測深機器を用いた出来形管理要領³⁾の0.25㎡に1点以上(1.0㎡に4点以上)の取得点密度が担保できるよう測線間隔を0.5mで刻むこととした。

(図-6) その根拠は測深器の測定速度が5Hzでボート速度が2m/sであるため0.4m進むごとに測定していることになるからである。

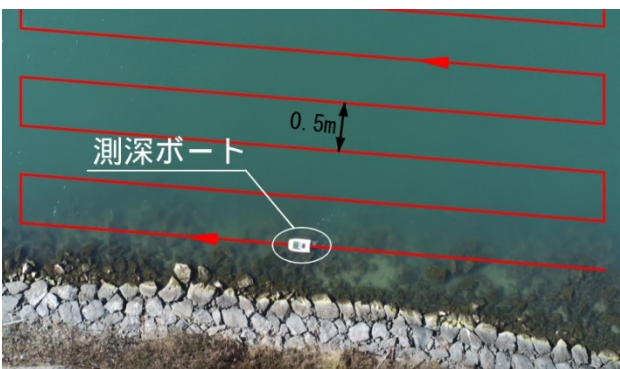
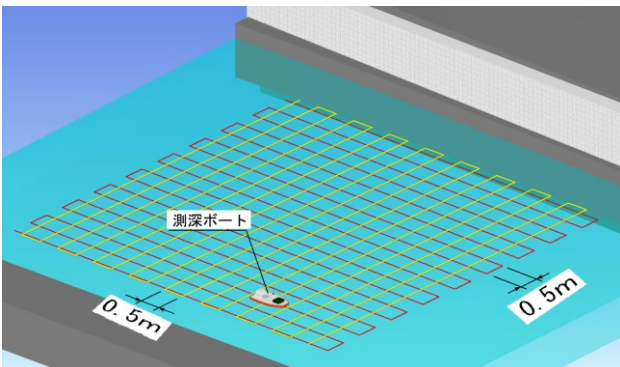


図-6 測深ボートの計測方法

そこに測深ボートで計測した水中のデータを合わせて一元化表示する。(図-8) 水中データには色の情報が無いので標高をヒートマップ表示した。

このように地上データと水中のデータを一元化するには正確に測量された基準点を使用して座標位置を付与する必要がある、測定結果には基準点の精度確認や解析した点群の精度確認が必要である。

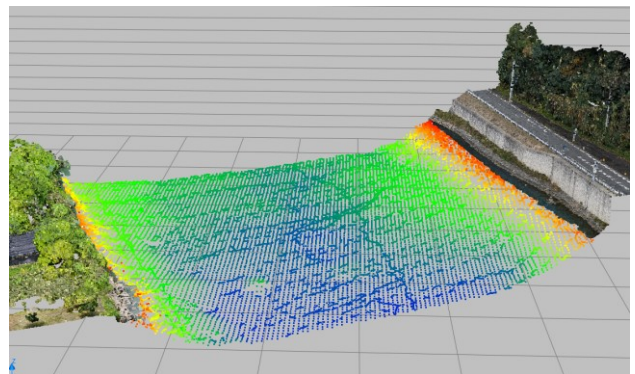


図-8 地上データ+水中データ

取得したデータの点群密度を以下の表-1に示す。

表-1 地上データと水中データの点群密度

データ	単位面積A(㎡)	点数N(個)
地上	1.0	25,000以上
水中	1.0	7~11

以上の結果から地上データは一眼レフカメラで撮影したという事もあり、1.0㎡内に25,000点以上と十分な点群密度が取得できた。これはあくまでもUAVを用いた空中写真測量⁴⁾を基準として十分であると評価しているが、護岸構造物の形状や特性を考慮するならば、沈下や滑動の計測が目的である場合など詳細に計測する必要も出てくると考える。特に図-9のように構造物の角をしっかりと出したい場合は非常に高い密度が求められる。今後は構造物の出来形測定などにこういう点が重要になってくるのではないだろうか。

5. 計測結果

(1) UAV+測深ボートによる測定

2. (1) で説明した UAV+測深ボートによる測定のうち UAVで計測した結果を図-7に示す。



図-9 直壁の点群データ (拡大)

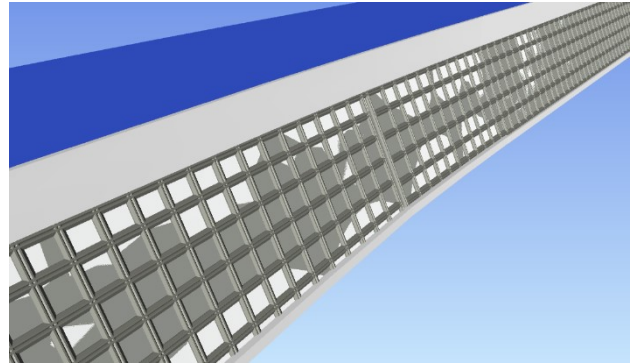


図-12 設計3Dモデル

水中データは音響測深機器を用いた出来形管理要領³⁾の0.25㎡に1点以上(1.0㎡に4点以上)を基に評価する。7～11点であったという結果は十分あるといえる。点群密度を増やすには測深器の測定速度を上げるかボート速度を下げて測点を増やせばよいので、測定したい目的によりその計測頻度を容易に変更できる。何より10mという深いところまでしっかり測定できている事を評価したい。点群データより抽出した水深10mの断面を図-10に示す。このように地上と水中のデータが一元化された点群データがあれば任意地点の横断も容易に取得できるし細かい測点割りによって地形の把握度が各段に上がる。

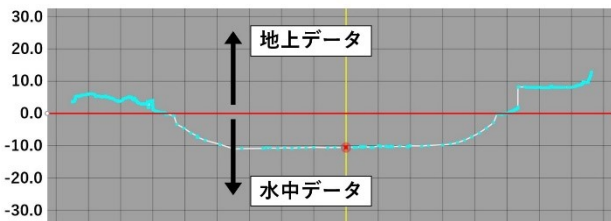


図-10 横断データの抽出

(2) UAV測定結果と設計モデルとの比較

2.(2) で説明した路面の割れや沈下が見られる擁壁を UAVで計測しその点群データを設計3Dモデルと比較する。UAVの計測方法は2.(1) と同じく壁面に正対して飛行する撮影方法とした。そうして得られた点群データを図-11に示す。

また設計図より作成した3Dモデルを図-12に示す。



図-11 UAV計測した点群データ

図-11の点群データと図-12の設計3Dモデルと重ね合わせてその差分を測ってみる。重ねただけでは分かりづらいので測点で横断を抽出し2つのデータの差分をソフト上で計測してみた。それを図-13に示す。特に注意すべきは、二時期のいデータ比較には、基準点の精密な座標の配置と記録が不可欠である。

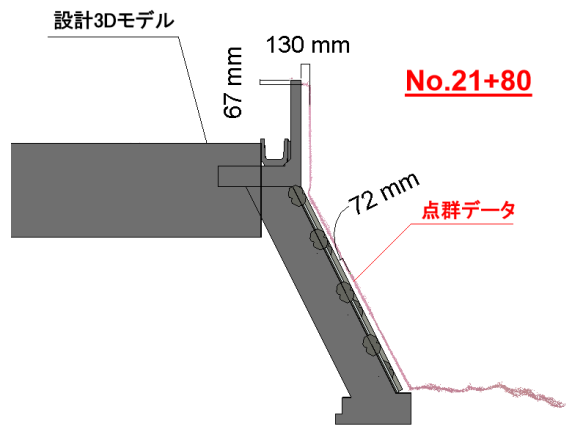


図-13 重ね合わせた横断データ

このように差分を計測することが出来れば、沈下の程度や状態の把握がしやすい。

今回の比較は実測の点群データと設計3Dモデルであったが、本来は完成直後の点群データがあり、そのデータと比較すると更に有効なデータが得られたはずである。今後はこの現場も次年度に実測したデータと比較することでもっと正確に沈下の進行状況を確認する事ができ、補修工が必要な時期や工法の決定にも貴重な資料になることであろう。

6. まとめと今後の課題

(1) UAVによる空中写真測量について

これまでのi-Constructionなどで使用されてきた上空を平面的に飛行撮影する手法に加え、角度のある構造物や法面などには正対して飛行し撮影する事でより細部までの計測や死角でわからなかった箇所も測定も可能とな

る。UAVを正対位置での飛行など複雑な経路を安定的に飛ばすには空間座標の正確さが求められ、マニュアル(人力)でのコントロール飛行はかなり困難である。精度の高い位置情報制御が可能なSeptSOIという位置決め装置が機能を発揮して、初めて可能となった。また計測の目的によって点群密度も変える必要があり、カメラの種類を変えたり対象物との距離を調整することで変更が可能となる。経年変化などを計測する際にはより多くの点群がある方が計測に優位であるし、他の分野へのデータ利用の可能性も大きい。

しかしデータが大きくなるとパソコンの動作環境やデータの保存という問題が常について回るが、今後はこれらインフラのDXデータに対応したデータ形式の統一や保管方法が整備されるであろう。

(2) 測深ボートによる深浅測量について

音響測深機器を用いた深浅測量にはマルチビームでなければならないという風潮がある。もちろんマルチビームは素晴らしい機器で護岸の水中部や沈んでいる工作物の形状などまで計測することができるので、そういうところまで把握する必要がある場合は当然マルチビームを使用すべきである。

しかしながら非常に高価であるため測定のコスト高が問題となっている。測定可能範囲(以下スワス角という)が広いと測線の間隔が広くとれるので測定に時間がかからないが、パッチテストが必要なことやスマイルカーブ現象やトンネル効果減少などマルチ特有のエラー現象があるため結局スワス角を狭くして測定することがままある。

このような難点を回避する一つの方法として安価でシンプル構造のシングルビームで測線を細かく刻んで測定する方が手軽で確実にデータを取得する事ができる。ボートも小型化が可能でライトバンに収まり人力で可搬できるため汎用性が高い。今回は10m程度の測深について測定したが、今後はもっと深い箇所についても測定実験を繰り返し、バーチェックとの比較で精度確認を行うこ

とも必要である。

いずれにせよ測定目的によって測深器や測定方法を最適なものを選択する事が重要になってくる。その中でも濁度が高くても深い深度まで測定できるこの手法は活用の幅が広いと考える。既存の技術の組み合わせで出来ることから使用する機器も安価であり測定コストもかなり抑えられる。

(3) 河川の維持管理

将来の維持管理に向けてどのような手法が有効か、どのようなデータで残すことが重要かが各地方整備局単位で様々な実証実験と検討が行われている。

これまでの巡回・巡視では確認しにくかった箇所の視認が可能になったり、定期的な画像取得やリアルタイム画像の伝送などにはUAVが自動飛行で実行する事が行われ始めている。これからは計測業務の更なる技術革新と既存の技術の有効活用に焦点が集まることになる。

本当に有効なもの、つまり本当に省力化・効率化につながるものは何なのかをしっかりと見極める議論がされることを切に願ひ締めくくりとする。

謝辞: 本稿を作成するにあたり測定場所の提供などに御協力いただきました近畿地方整備局福知山河川国道事務所の皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本工業出版「検査技術」第24巻12号：高精度自動離着陸・航行ドローン 令和元年12月
- 2) 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)平成28年3月(平成29年3月改正)
- 3) 国土交通省：音響測深機器を用いた出来形管理要領(案)平成30年3月
- 4) 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要領(案)平成30年3月