

航空レーザ測量による河川定期縦横断測量について

上畑 祥吾¹・大岩 仁志²

¹近畿地方整備局 国営飛鳥歴史公園事務所 調査設計課(〒634-0144 奈良県高市郡明日香村大字平田538)

²近畿地方整備局 木津川上流河川事務所 工務課(〒518-0723 三重県名張市木屋町812-1)

平成29年度から国内稼働をはじめた航空レーザ測深システム(ALB: Airborne Laser Bathymetry)が、河川測量に利用される場面が増えてきており、河道状況を効率的かつ詳細に把握するツールとしての期待が高まっている。木津川上流管内では、河道への現地立ち入りが困難な区間もあるため、河川定期縦横断測量の代替としてALBで縦横断図を作成することとしたが、水質の影響により想定した深さまでの測深ができず、現地補備測量を併用することとなった。本稿では、管内の計測実施状況、他河川における水質と測深深度の関係等を交えつつ、ALBを河川で利用する場合の課題について整理した。また点群データを利用した図面作成方法のポイント等についても考察した。

キーワード ALB, 水質, 河川定期縦横断測量, 点群データ

1. はじめに

平成17年度に水系一環治水安全度評価に航空レーザ測量(近赤外レーザで陸域のみ対象)が利用されて以降、MMSやUAV等の登場により三次元計測技術が河川分野で普及をはじめた。近年ALBの国内稼働もあり、水陸一連の面的な地形測量への期待から「河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)」¹⁾(以下、マニュアル(案)と称す)も施行された。

木津川上流管内においては、現地立ち入りの厳しい渓谷が位置しており管理用の横断図を更新できない区間がある。そのような箇所を含め管内全域の横断図を更新すべく、ALBを実施したものである。計測は、水位・濁りが安定した落葉期(2月)に実施したが、測深可能深度は2m程度に止まり、植生域においては一部で地表面へのレーザ到達が曖昧となる箇所も生じ、地上作業による確認等も必要となった。

一方、福井河川国道事務所が管理している九頭竜川中流域においては、6mまでの測深により河床の欠測はほとんどなく、横断図作成におけるALBの適応性も報告²⁾されている。

本稿では、木津川上流管内のALB実施状況、他河川の事例等も交えつつ、ALBに関する課題について整理する。また、点群データから縦横断図を作成するうえで、

効率的な手順も確立されておらず課題も多い。点群データの特性、マニュアル(案)が示す方向性等を踏まえ、図面作成方法についても考察した。

2. 木津川上流管内の状況と従来測量における課題

今回の計測では、三重県上野盆地を北流する本川に岩倉大橋付近で支川(服部川・柘植川)が合流、その後狭隘な山間部を蛇行しながら西流し、京都府に及ぶ約30kmの管理区間を対象としている。盆地部の構造は有堤を基本とし、大きな淵等もなく平常時の水深は2m程度である。一方、山間部は堰の設置や蛇行による河床の侵食等により水深は9m程度に達する区間も点在する。管内の水質は、環境基準の類型指定はA類型として指定(昭和47年11月に指定)され、良好な水質を維持している。なお、西流区間は現地立ち入りが困難な箇所が点在し、定期的実施する縦横断測量においては、過年度の図面複写で対応している状況にある(図-1)。



図-1 計測区間の状況

3. ALBの実施（木津川上流管内での課題）

(1)計測諸元

国内で稼働するALBは、近赤外レーザで陸域、緑色レーザで水域を計測するシステムが主流だが、今回は緑色レーザで水陸一連の計測が可能なシステムを使用した(図-2)。計測は、安定した飛行で高密度点群が取得できるよう諸元を設定した(表-1)。

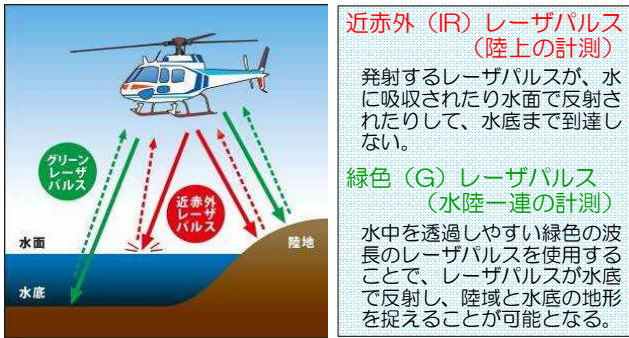


図-2 ALBの概念図

表-1 計測諸元

項目	諸元	備考	
計測システム	SAKURA-GH (RIEGL社 VQ-880-GH)	回転翼機に搭載	
データ記録方式	波形記録式		
対地高度	約 610m		
対地速度	約 100km/h		
計測密度	緑色	24点/m ²	水域陸域の地形対象
	近赤外	4点/m ²	水面対象※
コース間重複度	50%		
カメラ地上解像度	10cm/pixl		

※水中を透過するレーザの減速・屈折を補正処理するため近赤外線レーザを使用。

(2)計測実施のタイミング

ALBには、より深くまでレーザを到達させることが求められる。そのため、測深時は水質が良好であること、水位が高くないこと等に留意しなければならない。また同時に取得する陸域については、植生の影響を受けにくい落葉期が望ましいため、次の条件下で計測を実施した(表-2)。

表-2 計測時の条件

項目	条件	備考
時期	2019年2月24日, 25日	好天時
水位	平常時水位	降雨から4日後
濁度 (水質※)	4地点: 2NTU前後 2地点: 4~5NTU	図-1参照

※水質調査については、「3.水質と測深深度の関係」にて詳述。

なお、濁度については過去一年間で毎月流量観測時に実施した濁度調査の最良時で2NTU前後であり、4地点で同程度の値を確認し実施に至っている(すべての地点で2NTU前後となる機会は少ないと判断)。

(3)計測結果に基づく課題

a) 測深深度

今回の計測においては、水深約2mまでの測深に止ま

り、河床勾配の緩い岩倉大橋から上流側の本川、支川は欠測がなく河床を明瞭に捉えたが、山間部を流下する下流側については、深掘箇所、堰の湛水域で欠測が多く発生した(図-3)。

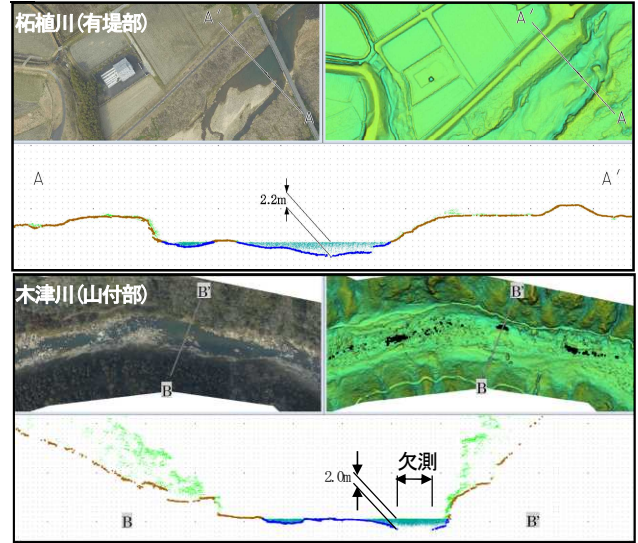


図-3 データ取得状況(水部)

b) 植生下の取得状況

2月計測により計測範囲全体では地表面へのレーザ透過は比較的良好であった。特筆事項としては、有堤部では高水敷に繁茂したクズ、ヨシ群落等により地形が曖昧となる箇所が一部あったが、植生パターンに応じた確認測量により、点群が地形を表現していることを確認した。一方、山付部には水際に竹林の繁茂が各所に見られたが、レーザの透過に影響は少ないことを確認した(図-4)。

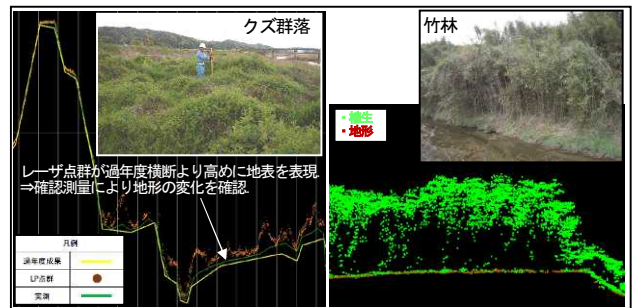


図-4 データ取得状況(陸部)

c) 精度検証

精度検証については、全横断数(177測線)の約10%に相当する19測線を地形植生条件に応じて選定し、5月実施の従来法(実測)で得られた横断線と点群から作成した横断線の双方に対し、50cm間隔で比較用の点を補間で設け、較差を部位毎に比較した(表-3)。

堤内地: 植生箇所が少なく10cm以下。

法面: 雑草の影響もほとんどなく10cm前後に収束。

堤防天端: 舗装された天端は、点群のばらつきも少なく2~3cm程度の較差に収束。未舗装箇所では約5cmの較差。

高水敷: 植生繁茂部は15cm前後の較差。植生無しの箇所は、10cm以下。

低水路: 植生繁茂部は25cm前後の較差。高水敷と異なり多種かつ密生度の高い植生の混交が影響と推察。植生

無し箇所の、高水敷と同様に10cm以下。

水部(河床)：概ね10cm程度の較差。一部30cm超えの測線もあるが、2月のALB計測に対し、5月の実測のため小規模な河床変動の影響と推測。

山付：較差は50cmを超える箇所もあり。全体的に較差が大きいのは、急峻地形のため僅かな横ズレで較差大と推測。緩斜面では良好な結果を確認。

表-3 部位毎の標高較差集計(点群-実測)

RMS誤差 点検断面	堤内地	法面	天端	高水敷				低水路		水部	山付
				植生有		植生無		植生有	植生無		
				植生有	植生無	植生有	植生無				
木津川37.8K	-	-	0.9	-	-	-	-	-	6.0	55.6	
木津川40.0K	7.6	15.0	3.7	9.3	-	7.3	-	-	9.9	-	
木津川42.4K	-	-	3.0	-	-	-	-	-	32.6	16.3	
木津川43.0K	1.5	9.7	2.1	6.8	8.8	7.5	-	-	5.1	-	
木津川46.0K	-	-	2.1	-	-	-	-	-	7.5	38.9	
木津川47.4K	-	-	-	-	-	-	-	-	9.2	16.8	
木津川47.8K	-	9.1	2.5	-	-	-	-	-	31.1	21.3	
木津川51.2K	-	-	-	-	-	-	-	-	6.7	24.1	
木津川52.4K	-	8.4	3.9	-	2.7	9.6	5.3	-	8.5	6.4	
木津川57.6K	9.7	7.5	1.4	7.1	-	13.9	4.9	-	17.0	-	
木津川59.0K	6.1	9.7	1.9	10.6	-	14.0	-	-	10.9	-	
木津川61.0K	7.9	8.1	1.2	6.4	-	8.3	4.4	-	9.0	-	
木津川62.0K	8.5	11.1	4.6	5.9	-	21.2	-	-	35.3	-	
服部川0.6K	9.4	6.0	2.9	9.5	6.4	11.0	8.5	-	11.5	-	
服部川1.4K	7.9	5.1	1.2	13.3	-	11.3	5.9	-	3.9	-	
服部川3.4K	2.6	6.0	1.7	5.3	-	20.5	-	-	6.6	-	
拓植川0.0K	6.6	5.7	4.8	6.5	-	13.5	4.3	-	8.5	-	
拓植川0.6K	7.8	6.6	2.5	15.2	-	18.1	2.7	-	3.3	-	
拓植川1.4K	3.6	6.4	2.8	17.0	-	23.2	4.3	-	15.6	-	

一方、「マニュアル(案)(P1-9)」では、三次元データを治水関連で利用する場合の許容誤差として、堤防高・堤防形状5cm程度、局所的な河床把握15cm程度、河道全体形状30cm程度、植生ボリューム50cm程度等とされている。堤防形状(法面)がやや許容値より大きいことになるが、治水を目的としたALBによる横断図の作成は落葉期かつ平水位時の計測であれば、精度の側面からは大きな問題はないと考える。

4. 水質に起因する課題 (他河川の事例と比較)

前述の結果より、管内でALBを利用する場合の課題としては想定より測深深度が浅くなり、立ち入り困難な箇所の図面更新ができなかったこと、また立ち入り可能箇所でも現地補備測量が必要となり作業手間が増えたことが挙げられる。ここでは、測深深度に影響を与える水質について他河川の事例も含め考察する。

(1) 水質調査方法

国土地理院から平成31年3月に公布された「航空レーザ測深機を用いた公共測量マニュアル(案)」において、水質と測深深度の関係性(相関)については、既存の調査事例から透明度調査と濁度調査を標準とすることが望ましいとある(表-4)。

表-4 調査方法

項目	透明度調査	濁度調査
調査方法	直径30cmの白色盤を沈め、目視できる水深を測定。	精水 1L に粘土鉱物 1mg が含まれた水を濁度 1 とし試料を比較対比。
特徴	ALBメーカー推奨法だが、ボートで深場への移動を伴い手間大。	簡易の計測機器も市販されており、調査は比較的容易。

(2) 水質と測深深度の関係

透明度と濁度について、木津川他でALBと同期して水質調査を実施した3河川の状況をイメージしやすくするため、横断測線における欠測等について整理した(表-5、図-5)。各河川の水質調査結果と調査地点近傍で欠測の始まる境界水深の関係を示す(図-6)。

表-5 横断測線上の欠測状況

項目	木津川	河川A	河川B
測量延長(km)	29.8	11.2	9.2
全横断本数(本)	177	57	44
水部平均幅(m)	38	110	42
水部欠測本数(本)	33	50	3
水部欠測平均幅(m)	35	63	41
最大測深深度(m)	2.7	2.3	8.8
透明度調査地点数(箇所)	4	5	1
濁度調査地点数(箇所)	4	5	1



図-5 計測時の水部写真

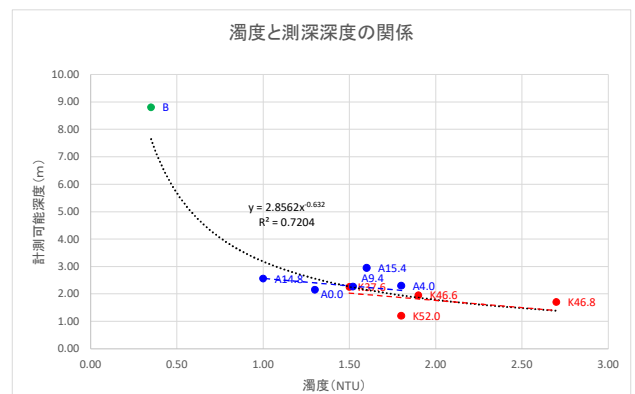
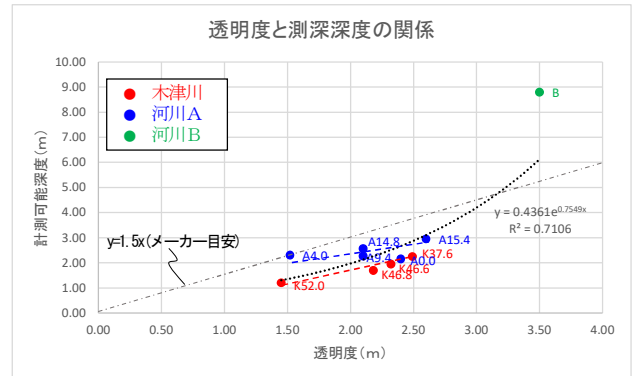


図-6 水質-水深 散布図

(2) 相関性に関する考察

3河川(10地点)の調査結果を散布図にプロット、回帰線の相関係数二乗値は、両調査ともR²≒0.7を示し比較的高い相関を示した。河川毎には対象領域も狭くなり回

帰線の傾きもそれぞれで異なる。ALBメーカーからの目安では、透明度水深の1.5倍(例：透明度2.0mならALB測深値は3.0m)まで測深可能とされるが、河川Bを除いては目安より測深は浅い結果となった。濁度については、1.0NTU付近を境界に指数的に測深深度が深くなっている。グラフにはないが0.2NTU時に15mまで測深した国内河川もある。図-5の写真からも河川Bは濁りの少ない様子が伺え、知見が増えれば現地の目視や写真より、大まか測深深度のあたりをつけることも可能と考える。

(3)補備測量に関する考察

ALBで欠測が生じた箇所は、補備測量を追加し横断面図を完成させなければならない。水質が大幅に改善すれば再度ALBで補備をすることも考えられるが、線の横断面図の作成が目的であれば、TS、GNSS等による補備が現実的となる。表-5に示す通り河川毎に補備率、測線延長も異なり、補備に必要な費用もまちまちとなる(表-6)。

表-6 標準積算より(深淺測量直接費) [単位：千円]

項目	木津川	河川A	河川B
全体	1,220	2,089	113
10km換算	409	1,865	121

この比較から、河川AのようにALBによる効果が低い河川は、陸部LP、水部従来法(線的)の併用を検討することも必要と考える(ただし、横断面測量用途以外の目的もある場合は総合的な判断が必要)。

5. 点群による横断面図作成について

(1)作図方法の現状と課題

従来(実測)測量では、構造物端部や地形変化点を現地で直接計測して作図するのに対し、点群を利用する場合は、無数のレーザ点群をパソコンモニター上で確認しながら、点群をトレースして横断面図を作成する。その場合、過年度の横断を重ね合わせ形状変化の有無を確認しながら点群を全幅トレースするのが一般化している。これは、横断面図の全幅分を新規に作成することを前提に積算されていることに起因している。また、点群が地形変化点を直接捉えていない、前述の通り一定の誤差を許容しつつ横断面図に利用等から、全幅をトレースすることは、あえて手間をかけて、やや精度低下した図面を作成することも言える(図-7)。

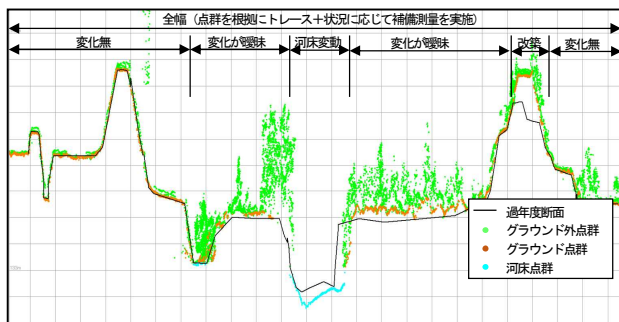


図-7 点群と過年度横断の重ね図

(2)予察による横断面修正

航空写真測量により既存地形図を修正する場合、予察と称する工程により、既存地形図と新たに撮影した航空写真を対比して変化箇所を抽出する。これにより、修正箇所を限定し図面作成費用を軽減する効果がある。この方法を、横断面図作成に応用した場合、次の手順が考えられる(図-8)。

- ① 過年度横断線と一定幅内に存在する点群を重合せる
- ② 過年度横断線に対し誤差許容値分のバッファをとる
- ③ 数mおきにバッファ内に点群あれば変化なしと判断
- ④ 明らかに許容値を超える部分のみトレース
- ⑤ CAD上で曖昧な箇所は現地確認 or 補測を実施

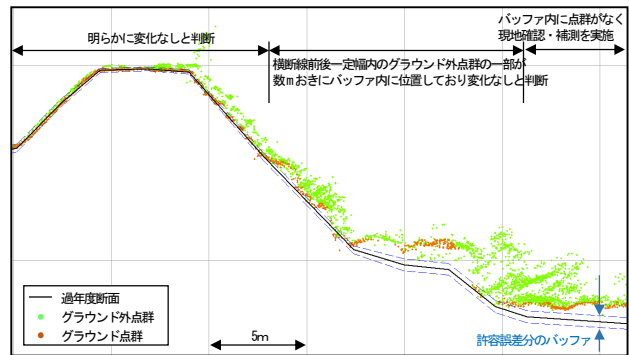


図-8 許容誤差範囲を併記した断面

これにより、横断面図作成の効率化(作図費用軽減)が可能と考える。

6. 今後に向けて

ALB への期待が先行する状況にはあるが、その適用が相応しい河川の条件、計測のタイミング等について検討を継続していく必要があると考える。

(1)ALB 計測の意義

ALB の普及に伴い、直轄以外の県管理河川等でも利用が始まっている。水質の影響はあるものの、距離標測線以外の河道状況の把握、ICT 施工による浅域の河道掘削工事等、三次元的な河川管理は主流となりつつある。ALB 適用の費用対効果は、各河川の事業内容を鑑み縦横断面図作成以外の利用方法を個別に検討していくべきである。

(2)リアルタイムな水質観測

ALB 計測は、天候・水位・水質等の制約によりベストタイミングは極めて少ない。特に重要な水質判断は日々調査が望ましいが現実的ではない。水情報国土では、水質テレメーターの閉局が目立つ。テレメーターの復活により、ALB 実施時期を年間通して検討したり、計測実施日(時間)判断を的確にできると考える。

(3)関係機関との調整

落葉、水位の関係から一般的には冬期の ALB 計測が望ましいとされるが、湯水期の河道掘削工事、ダム放流等が水質に影響を及ぼす場合もある。関係機関との情報共有、調整により、水質条件のよい日を誘導できないか

と考える。また、業務期間の縛りにより最適な水質条件を待たずに実施している可能性もある。業務仕様の柔軟な変更も測深深度の増大に寄与すると考える。

(4) UAV-ALB 技術の適用

令和元年度には、各地整に UAV 搭載の ALB が配備された。原理は有人ヘリコプター搭載のものと同じであり、対象範囲、計測条件によって両機を使い分けることも必要と考える。

7. おわりに

木津川上流管内では、ALBを河川定期縦横断測定の代替法として採用したが、現地補備測量を伴い最大限効果的な活用には至らなかった。ALBを代替した他河川の例についても記したが、河川の水質が大きく影響し、その効果はまちまちで統一的な見解を見いだせていない。

しかしながら、「河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)」の施行により、河川管理への点群データ利用をALB以外の三次元計測技術も含め、今後継続的に進めていく必要もある。BIM/CIMの推進のためにも、俯瞰的に周辺技術、その動向を眺め河川管理の高度化に取り組んでいきたい。

謝辞：本稿の作成に協力頂きました、中日本航空株式会社の各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 河川管理用三次元データ活用マニュアル(案), R2.2, (国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室)
- 2) 河川縦横断測量における ALB の活用について, H29.7, (平成 29 年度近畿地方整備局研究発表論文集【新技術・新工法部門 : No.13】)