

河川縦横断測量におけるALBの活用について

小川 善史¹・福岡 浩史²

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 河川管理第一課 (〒918-8015福井市花堂南2-14-7)

²近畿地方整備局 福井河川国道事務所 品質確保課 (〒918-8015福井市花堂南2-14-7)

全国の一級河川においては河川管理や河川改修計画を目的とした、定期横断測量を実施している。しかし、測量間隔においては200m毎とされており、横断測量を実施する箇所以外の地形情報については得られない。また従来手法の作業性として、水部の計測手法は、船舶による作業であるため、急流河川においては作業に危険が伴うことや、計測器が測線上に位置しているかを絶えず確認しながらの慎重な作業となり、一測線の計測に時間を要するといった課題もある。

本論文は前述のような現状と課題に対し、グリーンレーザによる定期横断測量を九頭竜川(福井県)において試み、その成果の一部を紹介し、さらにその活用の方向性について述べるものである。

キーワード ALB(Airborne Laser Bathymetry), 河川測量, 河川管理

1. はじめに

全国の一級河川では河川管理や河川改修計画を目的とした実測による定期横断測量が実施されている。しかし、河川定期横断測量は、縦断方向に200m毎に一測線程度の情報量であり、護岸前面の局所的な洗掘や、瀬・淵の詳細な地形など、河川管理が求める情報が十分得られないという現状がある。また、水部の計測手法は、主に音響測深機による計測が行われているが、船舶により河道内で作業を行うため、急流河川においては作業に危険が伴うとともに、計測器が測線上に位置しているかを絶えず確認しながらの慎重な作業となり、一測線の計測に時間を要するといった課題もある。

前述のような現状と課題に対し、陸部の河川測量においては航空レーザ計測で取得された点群データを利用した、横断図作成の事例研究が行われ、精度検証や横断図作成までの手順等が作成され実用化に向けた動きが見られる¹⁾。

一方、水部においては、近年の計測技術として、水中を透過するグリーンレーザを用いた航空レーザ測深(以下:ALB)が開発され、ALBによる河川測量への適用の研究が実施されている²⁾が、精度検証の報告が少なく点群データからの横断図作成の手順等がない現状である。

以上のことを踏まえ、今回は深浅測量において、近年、水部の計測が行えるALB(Airborne Laser Bathymetry)を用いた点群データからの横断図作成を目的に、実測との精度検証を行った。また、航空レーザ計測の成果を活用した河川管理への応用を考察した。

2. 九頭竜川の特徴

今回の計測対象区間は、河床勾配は1/280~1/1,500と変化に富んでいる。水質は、日野川合流点の上流でA類型を満足するなど、比較的きれいな河川である。河川環境は、河道内に木本類や草本類の繁茂が顕著になり、砂州河原が減少していることから、礫河原の再生事業などが実施されている。特に魚類では、サクラマスやアユ等が生息し、九頭竜川中流域はカマキリ(アラレガコ)の生息地として国の天然記念物に地域指定されている。(図-1)

3. 従来手法による河川定期横断測量

河川定期横断測量は、一級河川の直轄管理区間を対象として、5年毎に実施している。

横断測量は、200m毎に配置された距離標を基に、左右岸を直線で結び、その測線上の地形の高低差を水準測量により測り、断面を作成する作業である。さらに水深が1m以上の区間では、小型の船舶を用いながらスタッフ(ロッド)もしくは音響測深機などの機材により測深する作業である³⁾。

また水部においては、急流河川においては危険が伴うとともに、計測器が測線上に位置しているかを絶えず確認しながらの慎重な作業である。

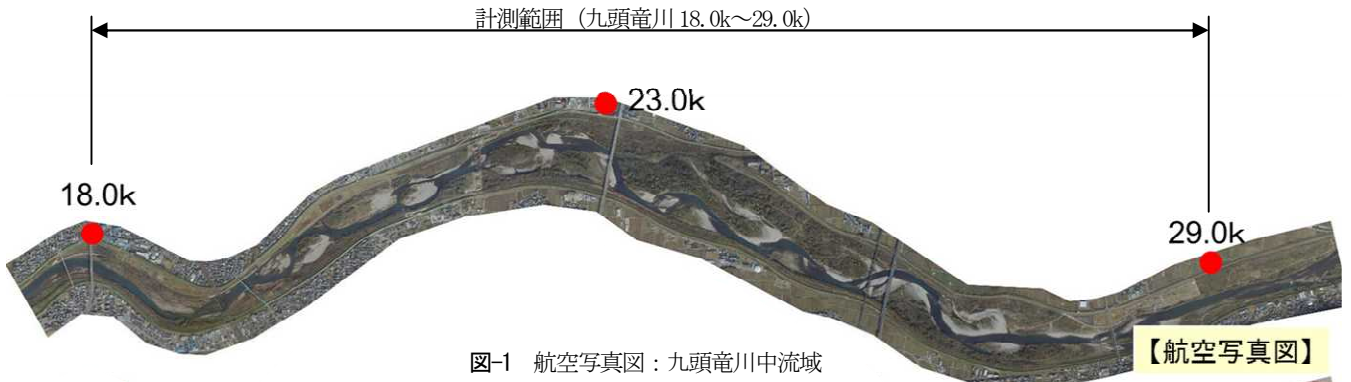


図-1 航空写真図：九頭竜川中流域

4. ALBの特徴

計測で用いるALB機器は、水部用と陸部用の2つのレーザを搭載し同時に運用するタイプである。このうち水部用のレーザは、可視域のレーザ光（緑色）を用いることで、河床の地形も計測が可能となる。なお測深性能は、透明度や水質に大きく依存するが、Chiroptera IIのカタログによると透明度の1.5倍とされ、最大15mまで測深でき、その精度は±0.15mである。計測イメージを図-2に、仕様を表-1に示す。

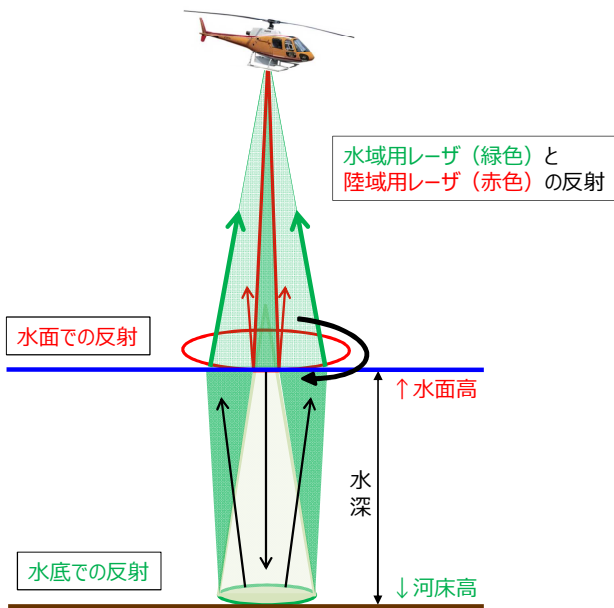


図-2 ALB機材による測深イメージ

表-1 使用する機器の仕様

項目	機器仕様	
水部用レーザ	35kHz(波長515nm)、波形記録方式	
陸部用レーザ	最大500kHz(波長1064nm)、波形記録方式	
運用対地高度	水部：500m、陸部：～1,600m	
スキャン方式	楕円方式（オプリークスキャン）	
計測密度（対地500m）	水部：約1点/m ² 陸部：約10点/m ²	
水部の測深精度	0.15m (2σ：95%)	
測深性能	～15m程度（～1.5×セッキ水深）	
デジタルカメラ	撮影バンド数	4バンド（RGB-近赤外）同時取得（機械式FMC装備）
	画素数	8000万（10,320×7,752）

(2) 計測諸元

ALBの計測延長は、距離標18.0k～29.0kの約10.8km、計測幅は約500m、計測面積は5.32 km²（陸部4.42 km²、水部0.92 km²）を対象とした(図-1)。

使用する機体は、回転翼とし飛行速度を遅くすることで水部での計測密度を約3点/m²確保するように計画した(表-2)。

(3) 計測実施

計測日は、水部での未測を防止するため、河川の濁りが少ないことや、水位が低いことが必須条件となる。そこで鳴鹿雨量観測所における降雨状況と中角水位観測所における流量状況を確認した。対象期間では大雨はないものの、2～4mm/hr程度の雨が繰り返し観測された。計測日前後の雨量・水位グラフを図-3に示す。こうした中で、ALBの計測は、無降雨の状態が比較的長く続き川の濁りが落ち着いた、平成28年12月4日の午前中に実施し、8:46～10:24の1時間38分で計測を完了した。

表-2 計測諸元

項目	計測諸元	
	水部	陸部
使用機器	回転翼	
飛行速度	72km/時（20m/秒）	
対地高度	483m～596m	
飛行高度	600m	
レーザ発射頻度	35,000発/秒	430,000発/秒
レーザスキャン角	前後 ±14度、左/右 ±20度	
レーザスキャン頻度	約24回転/秒	約70回転/秒
サイドラップ率	50%	
計測密度	約3点/m ²	約44点/m ²
デジタル地上解像度	6cm/pixel程度	
コース数	10コース	

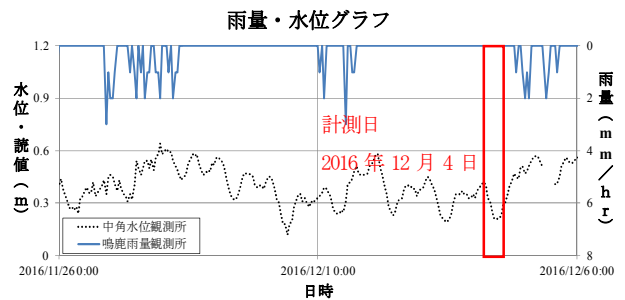


図-3 計測日前後の雨量・水位グラフ

4. 実測値との精度検証及び精度向上の検討

(1) 検証断面の設定

検証断面は、様々な水深で評価できるよう、断面を選定したほか、陸部での地表面の被覆状況の違いによる地盤高到達率なども考慮して選定した。対象断面の選定理由は表-3の通りである。

表-3 断面の選定箇所

距離標	最大水深	選定理由
18.0k	3.0m	下流側別業務成果との比較
18.8k	1.5m	河道内の被覆状況がグラウンド
23.4k	3.5m	河道内の被覆状況が樹林
26.6k	2.0m	河道内の被覆状況が草地
29.0k	1.0m	上流側別業務成果との比較

(2) 精度検証 (較差による比較)

ALBによる計測結果の精度を検証するため、実測による横断成果との標高較差を確認した。

ALBによる横断は、フィルタリング処理したALBの点群データを基に、TIN法により内挿補完した0.5mメッシュサイズのDEMデータを作成した上で、横断図を切り出した。ALBの標高は、実測点の水平位置を基準に垂線を延ばし、ALB横断図との交点標高を読み取った。この時の実測点とALBとの標高の差を較差とし、横断図を構成する全ての実測点について求めた。九頭竜川26.6kにおける重ね合わせ横断図を図-4に示すが、横断形状で大きな差異は見られなかった。

次に、各断面における較差を、水部と陸部に区分したのちに平均値と標準偏差で整理した。この結果、水部では平均値と標準偏差で10cm以下となり、河川定期縦横断の実施要領⁵⁾などの基準(±15cm)を満たしていた(表-4)。一方、陸部では基準の±15cmを超える箇所があったが、これは堤脚水路部の側溝等でALBデータによる地形の再現が難しい箇所や、護岸やブロック積等の勾急な箇所を中心に、局所的に較差が大きくなったためと考

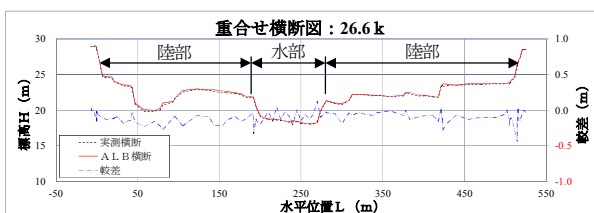


図-4 重ね合わせ横断図による断面形状の確認

表-4 各断面における較差の整理 (単位: m)

	水部			陸部		
	平均	標準偏差	点数	平均	標準偏差	点数
18.0k	0.10	0.04	14	0.01	0.68	134
18.8k	-0.01	0.07	23	-0.03	0.12	103
23.4k	0.00	0.09	10	-0.07	0.17	156
26.6k	-0.08	0.09	15	-0.11	0.08	88
29.0k	-0.06	0.07	22	0.00	0.39	115

えられる。したがって、横断図調製段階では過年度成果を基に修正することが望ましい。

(3) 精度検証 (河積断面による比較)

ALBによる計測結果を客観的に評価するため、河積を確認した。河積は、計画高水位(H.W.L.)より低い箇所を対象として断面積を計測した。この結果、ALBから作成した河積は実測値と比較して98%以上を確保しており、差異は僅かであった(図-5)(表-5)。

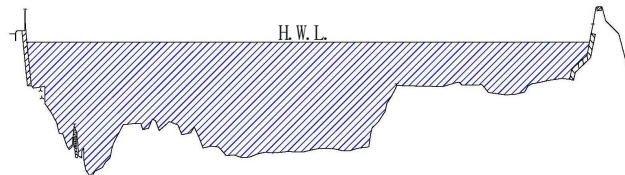


図-5 河積面積の算定イメージ

表-5 河積による面積比較 (単位: m²)

距離標	実測値	ALB	比率
18.0k	1,895	1,895	100%
18.8k	2,095	2,084	99%
23.4k	3,478	3,427	99%
26.6k	2,280	2,224	98%
29.0k	1,776	1,744	98%

5. 河川管理への適用の考察

本計測では、河川の横断図作成を目的に計測しているが、ALBは面的に計測できることで、今後の河川管理への応用が期待できる。ここでは、いくつかの事例について考察及び試行を行ったので以下に報告する。

(1) 河川管理施設点検への適用

河川管理においては、堤防等の施設の健全性を把握するため、日常的な河川巡視や出水期前の点検を行い、変状の状況によりランク付けを行っている⁶⁾。堤防および樋門等の目視できる変状においては、変状規模や施設に与える影響について定量的に計測できるが、水部などの護岸基礎部の洗掘や河岸の浸食については、水部内の状況が確認できないことから、目視できる範囲でランク付けを行っているのが現状である。このような水部の変状の状況について、ALBで計測した成果を活用した変状把握を試みた。

九頭竜川左岸の23.4kと23.6k付近は、河岸の洗掘が認められ要監視状況の箇所となっていた。そこでALBで計測した成果を活用した水深分布図を基に推測を行った(図-7)。

水深分布図では定期横断測量では把握ができていなかった測量箇所以外の箇所でも約6m洗掘していることを確認できた。また深さとその範囲等により対策の必要性についても確認できた。

さらにこれまでは対策工の具体的な立案においては対象区間での現地測量が必要となっていたが、ALBで計測

した成果により、検討対象区間において任意の箇所では横断面図作成が可能であったため、対策工の検討を速やかに行うことができた（図-8）。

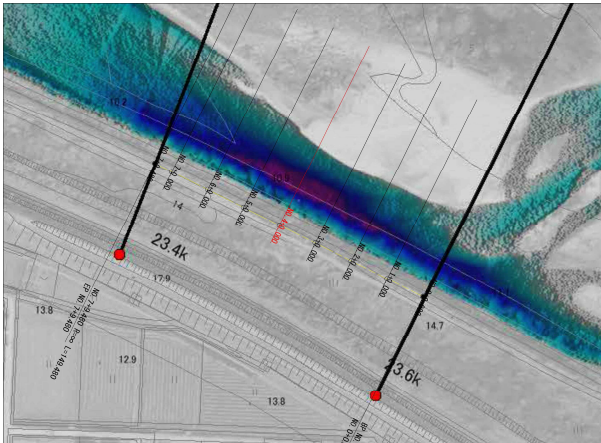


図-7 水深分布図
NO. 4+0.000

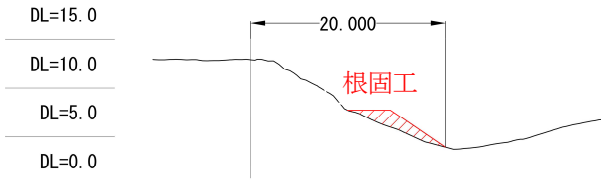


図-8 対策工横断面図

(2) 許可工作物の占有状況の確認

河川構造物の点検のうち、橋脚部の洗掘状況の確認は、基礎がむき出しとなり、場合によっては根入れ長が不足し橋梁本体に影響を及ぼすこともあるため重要である。しかし定期縦横断の測線にかからない場合には、洗掘の状況を把握することはできず、見逃す可能性も高い。

今回用いるALB機器では、水部の地形が計測できることや、レーザを楕円状に発射できる特性を生かして、橋梁下の地形もある程度計測できるため、橋梁部における洗掘状況を確認した。

ALBで計測した成果から、橋脚周辺の洗掘状況が明瞭に把握することができた。橋梁直下については、橋梁が影となるため一定区間の欠測が生じているものと思われるが、橋梁前後で取得した地形データから内挿することにより、良好に補完できている（図-9）。

(3) 樹木分布図及び樹木横断面図の作成

レーザ計測での測量成果の特徴として、樹木の分布状況やその高さを面的に把握することが可能である。そこで、今回作成した横断面図に、DSMデータから作成した横断面図を重ねあわせて樹木横断面図を作成した（図-10）。

この樹木分布図及び樹木横断面図を用いることにより、樹高とH.W.L.との比較やその幅などを確認することができるため、今後の河道計算における死水域設定などへの利用が期待される。

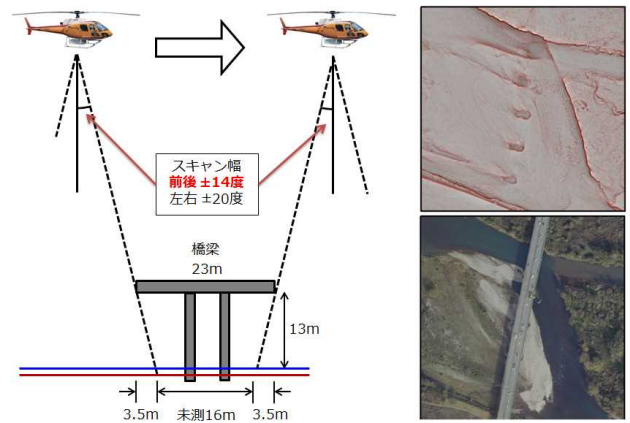


図-9 福井大橋直下における測深イメージ

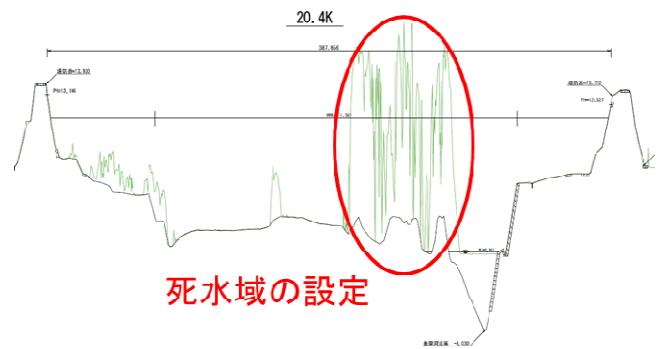
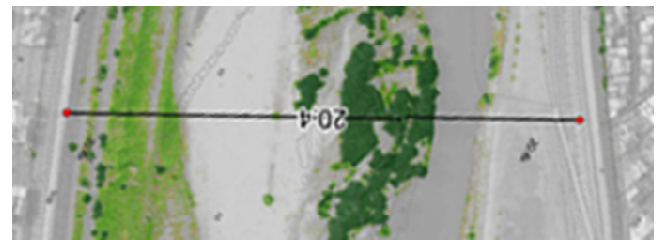


図-10 河道内樹木の把握と死水域設定のイメージ

(4) i-Constructionとの連携

計測の対象範囲である、20.6k～21.4kの河道内において、礫河原再生事業に伴う掘削等の工事がALB計測後に実施されている。

この工事は、ICT土工の対象工事として施工され、3次元設計データ交換標準（案）に基づきLandXML1.2形式で成果品が納品されている⁷⁾。LandXMLの記述では、測地原子の基準名、水平座標系の基準名を記述することとなり、インポート時の座標、標高の変換の必要が無く、ALB計測データとの連携が可能であり、施工後の維持管理業務などへの利活用が図られる。

工事完成後に納品されたLandXMLデータとALB計測データとを重ね合わせ、工事前後の面的変化を確認し（図-11）、定期横断測量で納品された工事前の横断成果を、工事の完成データを基に置き換え、工事後の横断測量データとして更新を行った（図-12）。

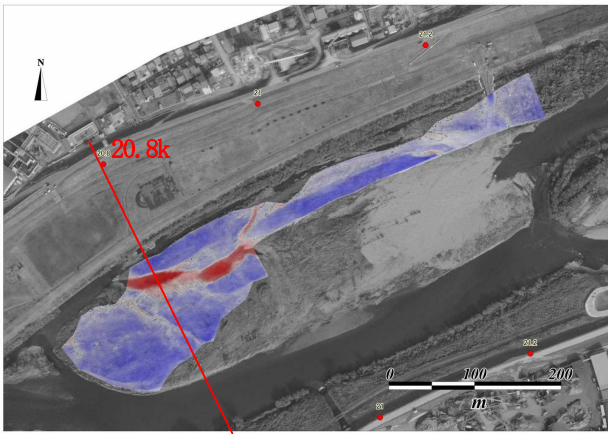


図-11 LandXML データと ALB 計測データとの重ね合わせ



図-12 工事掘削に伴う地盤高の面的変化把握

(5) 堤防点検へ活用

従来の横断測量は、観測点1点ごとの精度は高いものの計測間隔には限りがあるため、堤防天端や法面の形状などが良好に再現されていない場合もある。なお作業規定では、勾配変化点や変化が見られない場合には10m間隔程度で測量することになっている。

一方、国土技術政策総合研究所が別途業務で、1m間隔の実測横断測量を実施しており、その成果とALB計測による横断図との重ね合わせ図を作成し、再現性を検証した(図-13)。

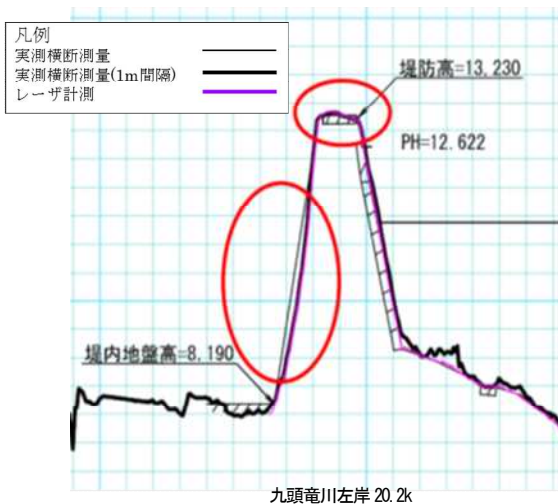


図-13 レーザ計測により作成した横断図の堤防再現性

この結果、従来の横断測量では把握が難しかった堤防天端のかまぼこ形状や法面の寺勾配などの形状などが、レーザー計測で作成した横断図では良好に再現されていることを確認した。

このことから、今後の堤防の変状確認などに成果の活用が期待される、

7. おわりに

一級河川九頭竜川の直轄管理区間のうち18.0k~29.0kを対象としてALB計測を行い、その点群データから横断図を作成して精度検証を行った。

計測に際しては、前後の降雨や水位の状況を考慮して実施日を決めたほか、計測の結果、橋梁下や白波が広がっている箇所の一部欠測がみられたものの、ほぼ全域において、大きな欠測なく作業を完了した。

水部の精度検証は、5断面を選定した上で、実測点との標高較差からその精度を評価した。その結果、①重ね合わせ横断図による形状比較では、大きな差異がみられなかったこと、②水部では、標高較差の平均値や標準偏差が10cm以下と河川測量の基準値を満足していたこと、③H.W.L以下の河積計測では、実測値と比較して98%以上確保されていたことなどから、ALB成果を横断図作成に適用することが有効であることを確認した。

最後にALB機器を用いて面的に河道内のデータを取得できることで、今後の河川管理への応用について考察した。

河川管理施設点検への応用では、水深分布図を作成することで、定期横断測量では確認できなかった箇所が最も洗掘していることを確認したほか、対策工の必要性まで推測する手がかりを導いた。

また河道内樹林評価では、樹木の高さや樹冠形状を定量的に評価する手法を用いることで、水理計算の死水域設定などに活用できる可能性を示した。

さらに橋梁部の洗掘状況の把握では、ALBが楕円状にレーザを放射する特性を生かして、橋脚周辺の洗掘状況も確認できることを確認した。

今後、様々な河川でALBでの実績を増やし、面的なデータを経年的に整備していくことで、効率的かつ効果的な河川管理に役立てていくことが期待される。

参考文献

- 1)田中成典ら：LPデータと過年度の河川定期横断測量成果を用いた横断図生成手法に関する研究，土木学会論文集F3（土木情報学），Vol.70，No.2，pp.1_283-1_292，2014.
- 2)今井龍一ら：河川定期横断測量へのレーザプロファイラの適用可能性と今後の展望，土木技術資料，57-7，pp.26-29，2015.
- 3)岡部貴之ら：ALBの河川縦横断測量への適用性の研究，河川技術論文集，第20巻，pp.55-60，2014.
- 4)山本一浩ら：グリーンレーザ(ALB)を用いた河川測量の試み
- 5)河川定期縦横断測量業務 実施要領・同解説
- 6)国土交通省：堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案），2016.
- 7)LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準（案）Ver.1.0 国土交通省国土技術政策総合研究所 2016.3