

航空レーザ測深（ALB）の活用について ～中部管内で初めて直轄河川管理区間の全域を 計測～

松森真希¹・細野将輝¹・赤島義徳¹

¹三重河川国道事務所 調査課（〒514-8502 三重県津市広明町297）

三重河川国道事務所では、中部地方整備局管内で初めて直轄河川管理区間の全域を航空レーザ測深（ALB）を用いて計測した。本論文では、航空レーザ測深（ALB）の概要・実際の観測方法等について述べるとともに、水面下を含む面的なデータを取得しつつ、従来測量手法との精度比較、今後の利活用方策等について検討した。

キーワード：定期縦横断測量、航空レーザ測深、グリーンレーザ

1. はじめに

一級河川では、河川管理や河道計画に用いるため、概ね5年に一度、定期縦横断測量を実施している。従来の測量は、200mごとに設置された距離標の間隔でしか断面データを得ることができない上に、徒歩観測や船上作業（図1）を行うため、多大な労力や危険が伴っていた。最近では航空レーザ測量（以下 LP）が普及し、得られるデータが増え、観測の労力を減らすことができたが、LPのレーザ光（赤色）では水中を計測することができないため、深浅測量を実施していた。これらの課題に対し、水中計測が可能なグリーンレーザを用いた航空レーザ測深機（以下：ALB）が開発された。^{1) 2)}

三重河川国道事務所において、これまで、平成28年度に宮川、平成29年度に鈴鹿川と雲出川でALBを用いた測量を行っているが、直轄河川管理区間の全域で計測しており、全域の計測は中部地方整備局管内では初めてとなる。

実際に行ったALBの概要と観測方法等について述べる。



図1 徒歩観測（左）・船上作業（右）の様子

2. 三重四川の概要

三重河川国道事務所では、鈴鹿川・雲出川・櫛田川・宮川の4水系を管理している。（図2）各河川の概要を以下に示す。

(1) 鈴鹿川

三重県亀山市坂下高畑山（標高773m）を源に発し、加太川、安楽川、内部川を合わせ、鈴鹿川派川を分派し伊勢湾に注ぐ。沿川の自治体は亀山市、鈴鹿市、四日市市で、鈴鹿川・鈴鹿川派川・支川内部川・支川安楽川の計41.2kmを管理している。

(2) 雲出川

三重県、奈良県の県境布引山脈三峰山（標高1,235m）を源に発し、八手俣川、長野川、波瀬川、中村川を合わせ河口付近にて雲出古川を分派し伊勢湾に注ぐ。沿川の自治体は津市、松阪市で、雲出川・雲出古川・支川中村川・支川波瀬川の計28.5kmを管理している。

(3) 櫛田川

三重県松阪市飯高町高見山（標高1,249m）に源を發し、蓮川、蓮ダムを経て中流山間部を流れ、佐奈川を合わせ伊勢湾に注ぐ。沿川の自治体は松阪市、多気郡多気町で、櫛田川・支川佐奈川・支川祓川の計24.4kmを管理している。

(4) 宮川

三重県多気郡大台町の日出ヶ岳（標高1,695m）に發し、大杉谷峡谷を貫通し、宮川ダムを経て中流山間部を流れ大内山川などの支川を合わせ伊勢平野に出て、河口付近で大湊川を分派し伊勢湾に注ぐ。沿川の自治体は伊勢市、度会郡玉城町で、宮川・支川大湊川・支川五十鈴川・支

川勢田川の計22.6kmを管理している。



図2 位置図

3. ALBの特徴

ALBの測定原理は、水中を透過しやすい波長のグリーンレーザと水面で反射する近赤外レーザを航空機から同時に照射し、その時間差で水深を算出する。(図3)

測深性能は、透明度や水質に大きく依存するが、今回使用した機材の測深性能は、透明度の1.5倍とされ、最大15mまで測深でき、測定精度は±0.15mである。(図4)

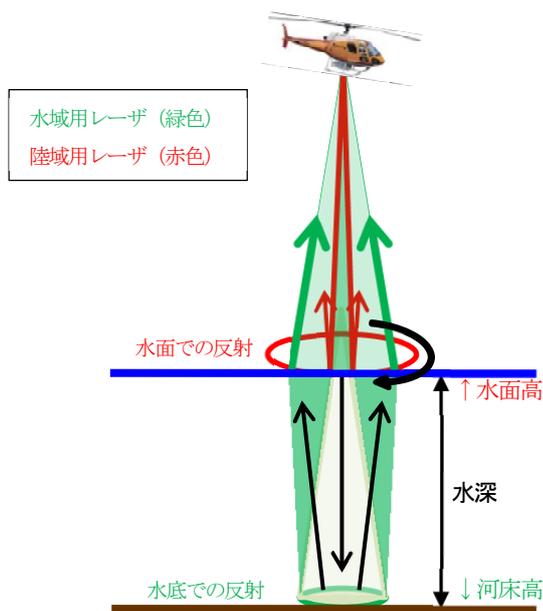


図3 ALBの測定原理

項目	機材仕様	
水域用レーザ (緑色)	35kHz(波長515nm)、波形記録方式 フットプリントは225cm(対地高度500mの場合)	
陸域用レーザ (近赤外)	最大500kHz(波長1064nm)、波形記録方式 フットプリントは25cm(対地高度500mの場合)	
運用可能な対地高度	水域:400~600m、陸域:~1,600m	
スキャン方式	楕円方式(オプリークスキャン)	
視野角(FOV)	前/後 ±14度、左/右 ±20度 計測幅は対地高度の70%(500m計測で約350m)	
計測密度(対地500m)	水域:約1点/m ² 、陸域:約10点/m ² (単コースの場合)	
水域の測深精度	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)

図4 使用した機材の仕様

4. ALBの実施

以下に、すでに計測を終えている3つの川について、計測実施の詳細を示す。

(1) 対象河川

計測の対象は以下のとおりである。

- ・鈴鹿川水系—鈴鹿川 0.0kp ~ 27.8kp
鈴鹿川派川 0.0kp ~ 3.8kp
支川内部川 0.0kp ~ 6.8kp
支川安楽川 0.0kp ~ 2.0kp
- ・雲出川水系—雲出川本川 0.0kp ~ 17.4kp
雲出古川 0.0kp ~ 2.5kp
中村川 0.0kp ~ 5.1kp
波瀬川 0.0kp ~ 4.7kp
- ・宮川水系—宮川 0.0~11.6kp
支川五十鈴川 0.0~3.2kp
支川勢田川 0.0~6.1kp
支川大湊川 0.0~1.7kp

(2) 水位(潮位)の把握

航空レーザ測深における測深性能は、水深や水質(透視度、濁度等)に大きく依存するため、計測実施前の降雨状況や計測実施時の水位(潮位)変動に留意する必要がある。とくに河口部付近においては水位(潮位)変動が大きいため、気象庁の潮位予測資料を基に水位(潮位)が低いタイミングでの計測を目指すこととした。

また、今回は「四日市」と「鳥羽」における潮位変動をALB実施の目安とし、潮位変化予測を考慮して、鈴鹿川と雲出川では10月上旬に、宮川では2月下旬から3月初旬に計測を実施した。

「四日市」と「鳥羽」における潮位変化予測を図5~7に示す。図5~7の赤枠で示した時間帯に、潮位の影響を受けるコースでの計測を実施した。

(2017/10/1~11/5)

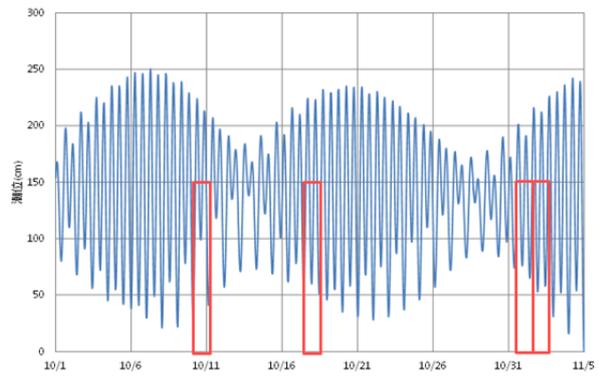


図5 「四日市」における潮位変化予測

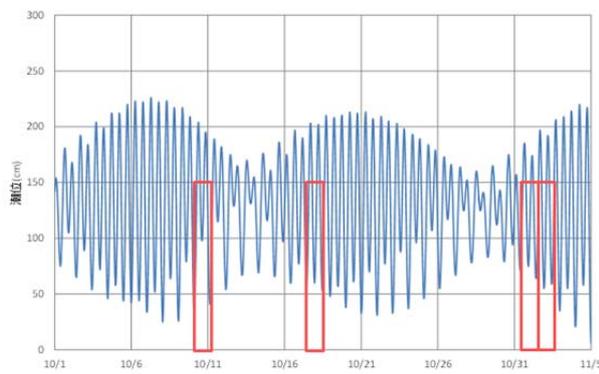


図6 「鳥羽」における潮位変化予測

(2017/2/21~3/8)

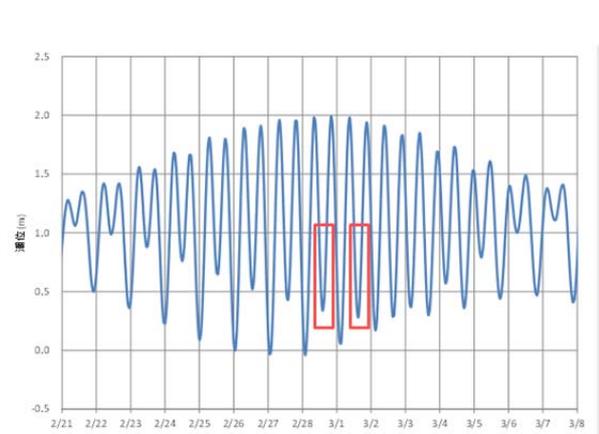


図7 「鳥羽」における潮位変化予測

(3) 計測諸元および計測コース

今回は、回転翼航空機（ヘリコプタ）を使用して低高度（対地高度600m）、低速飛行を行うことにより、水域1点/m²以上、陸域10点/m²以上の計測密度が確保できる計測諸元を設定した。レーザ測距装置の位置を確認するため、地上GNSS基準局を設置した。本業務においては、電子基準点「楠」, 「関」, 「嬉野」, 「伊勢」を使用

した。GNSS基準局は対象範囲から50km以内に設置するように規定されている（「公共測量作業規程の準則」第316条）が、本業務では最大23.4kmであり、規定を満たしていることを確認した。

また、河口砂州モニタリングのため河口砂州形状を面的把握できるように計測コースを沖合に延伸するとともに、沖合部に計測コースを追加で設定した。鈴鹿川・雲出川・宮川の計測コースを図8~10に示す。

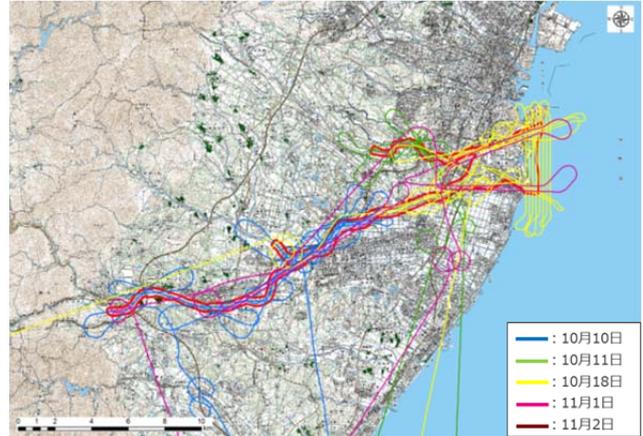


図8 鈴鹿川 飛行航跡図

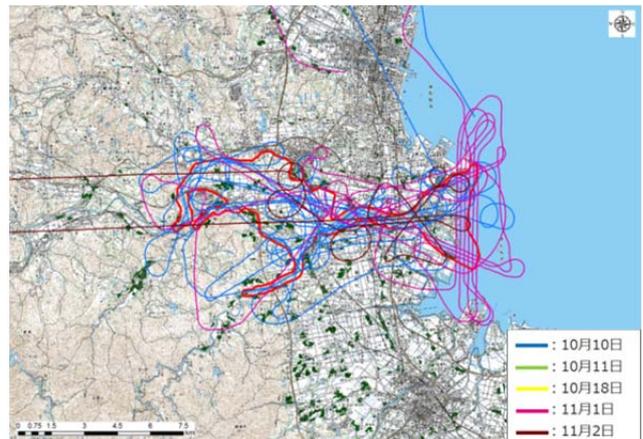


図9 雲出川 飛行航跡図

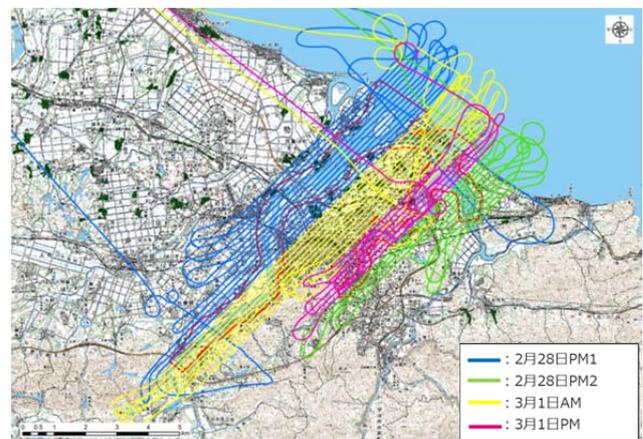


図10 宮川 飛行航跡図

(4) ALBの実施日

鈴鹿川・雲出川では2017年10月10日、10月11日、10月18日および11月1日、11月2日の計5日間ですべての計測を実施した。10月10日、10月11日、10月18日の計測で鈴鹿川全域および雲出川河口付近以外の計測を実施したが、その後台風第21号と台風第22号による出水があった。台風後に実施予定であった深淺測量（実測）との点検・精度検証を行うため、11月1日、11月2日に検証断面上を追加計測した。また雲出川河口付近については、河口から3.2k付近の香良洲頭首工を境に台風前後で範囲を分割してデータ整備をすることとして、香良洲頭首工の下流側の台風後データ取得のために追加計測を実施した。

宮川については、2017年2月28日と3月1日の2日間で実施した。

(5) ALBデータ計測状況の確認

航空レーザ測深の実施後、再計測の必要性を判断するために水域における測深状況の確認を行った。測深状況の確認は、対象範囲全域の写真地図データおよび赤色立体地図を作成して概略を把握するとともに、特徴的な地形を示している箇所を中心にフィルタリング処理を実施して詳細を把握した。確認の結果、水域においても大きく欠測している箇所のない概ね良好な測深状況であることが確認できた。測深状況の確認に使用するデータの例を図11に示す。

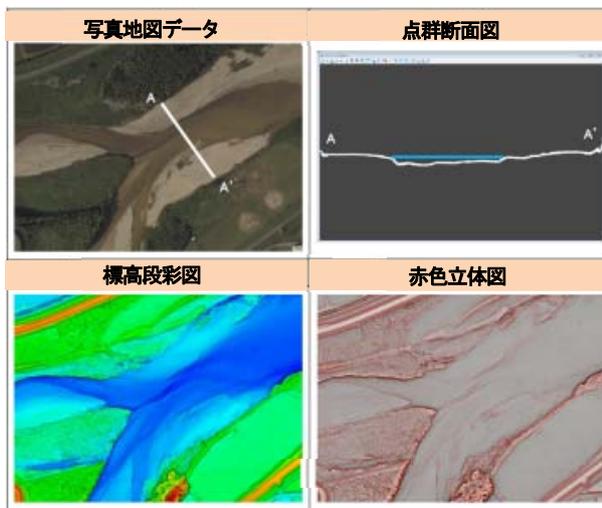


図 1 1 測深状況確認の例

(6) データの処理

ALBは太陽光の影響を受けやすく、ノイズデータが増加してしまう。影響を抑えるため、計測のタイミングを朝夕や太陽高度の低い時期、高曇りの日にするなどして太陽光が少しでも軽減できるようにするが、それでもノイズデータが得られてしまう。そこで図12のようにノイズデータや樹木、地盤、河床などを分類し、ノイズデータを取り除いた。また、フィルタリング処理により樹木や建物を除き、地盤・河床の地形データ（グラウンドデータ）を作成した。

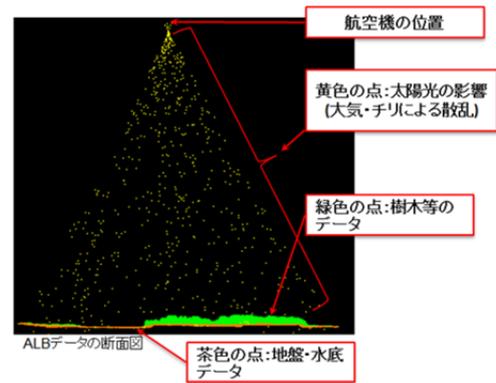


図12 データ分類のイメージ

5. 測定結果及び精度検証

今回の結果を定期縦横断測量成果として利用するため、堤防天端等の実測標高値との較差分を上下にオフセットして標高精度を確保した。(図13)「公共測量作業規程の準則」で定められた標高精度 $2\text{cm} + 5\text{cm} \sqrt{L/100}$ (L:測定距離)を満たしていることを確認した。

また、陸域・水域それぞれにおいて実測標高値とALBによる標高値の較差を求めて平均二乗誤差を算出し、各河川の断面における平均二乗誤差の平均値が、「航空レーザ測量による横断面調製マニュアル(案)」に記載されている基準値20cmを下回っていることを確認した。(表1)平均二乗誤差20cmを超える断面もあるが、航空レーザ測量と実測の間で河床がやや動いたことが原因と考えられる。

図14のように水部の面的なデータも取得できており、水面下の局所的な洗掘・深掘れ等の状況が把握することができた。

表1 測定結果の比較検証

河川名	測線名	陸部		水部	
		点数	平均二乗誤差 (cm)	点数	平均二乗誤差 (cm)
鈴鹿川	0.6k	21	8.57	16	5.81
	2.6k	76	14.52	16	6.80
	5.6k	63	9.97	20	6.62
	13.4k	68	13.22	10	7.07
	15.4k	61	12.08	8	12.25
鈴鹿川派川	20.0k	41	11.91	13	12.81
	0.2k	82	18.84	111	9.72
内部川	3.6k	39	10.41	-	-
	1.8k	50	15.05	5	21.58
	6.0k	28	13.82	6	25.15
安楽川	0.6k	55	15.37	5	13.44
平均			13.07		12.13
雲出川	0.8k	36	10.20	77	15.29
	4.0k	38	11.71	77	14.91
	8.4k	65	18.55	27	18.67
	12.4k	55	19.38	9	22.31
	15.2k	34	13.87	12	25.80
雲出古川	17.2k	25	13.77	15	16.74
中村川	1.2k	42	18.96	26	7.56
	4.0k	41	12.77	12	8.85
波瀬川	0.8k	56	16.57	6	30.44
	4.0k	21	12.13	6	28.78
平均			14.79		18.94
宮川	2.2k	41	8.74	124	8.77
	3.8k	200	17.04	52	17.66
	6.0k	152	11.46	38	6.17
	10.0k	168	19.00	13	11.04
勢田川	1.2k	80	15.07	53	11.71
	6.0k	51	10.73	9	18.16
大湊川	1.0k	12	9.96	23	9.31
平均			13.14		11.83

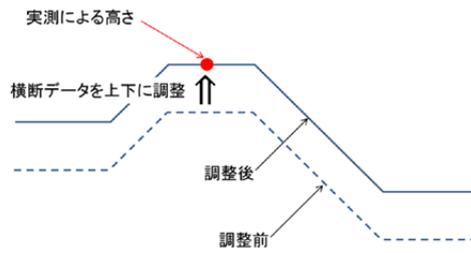


図13 オフセットイメージ

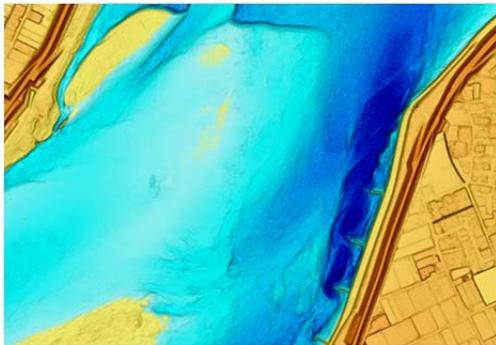


図14 標高段彩図

6. 今後の利活用

ALBでは面的なデータ取得ができるため、これまで200mピッチでは把握できなかった面的・局所的な状況が把握できる。以下に、ALBの利活用の例を示す。

(1) 河道内樹林の把握

ALBの計測結果から「樹高差分図」を作成することで、河道内樹林の繁茂域、高さ分布、成長度合いを把握することができ、河道計画や維持管理の樹木伐採計画の基礎資料として活用できる。(図15)

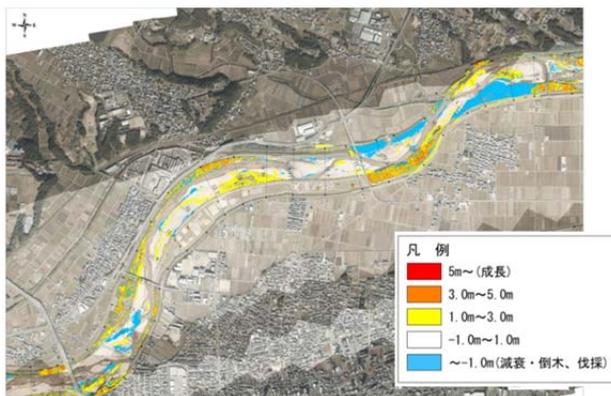


図15 樹高差分図

(2) 河床状況の把握

「水深分布図」を作成することで、瀬淵分布、局所洗掘箇所などの把握が可能である。(図16)

また、2時期の差分をとることで、河道内の堆積・浸食傾向の把握することができ、河道掘削後の再堆積等、水面下の状況も把握できる。(図17)

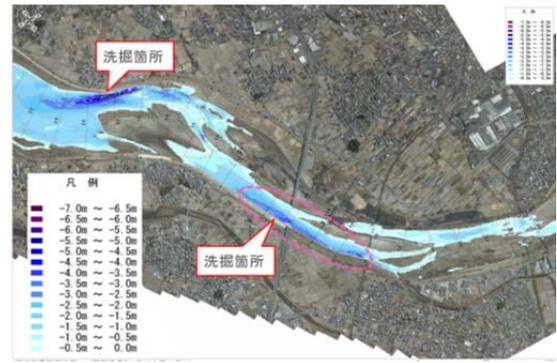


図16 水深分布図

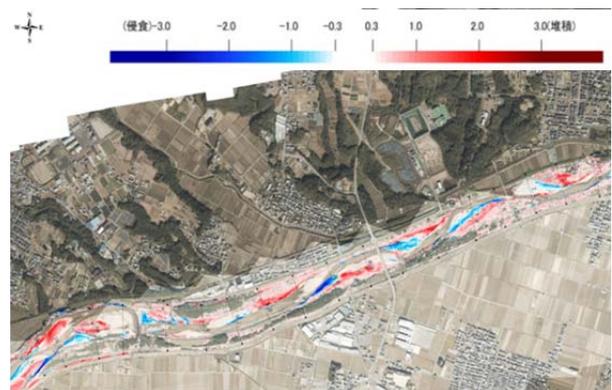


図17 地盤高差分図 (H24⇒H29)

(3) 橋脚の洗掘

橋脚部の洗掘は根入れ不足等の重大な影響を及ぼすが、ALBにより橋脚周辺の洗掘を早期に発見し対応することが可能となる。(図18)

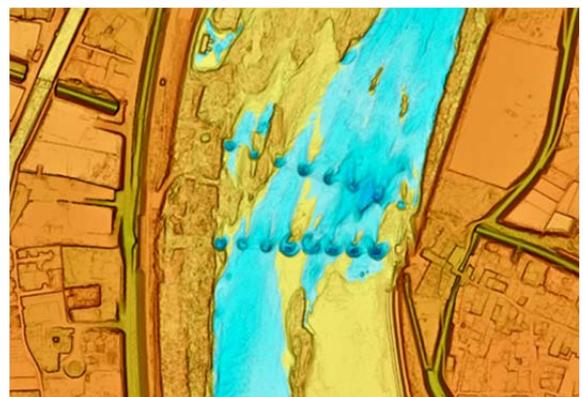


図18 橋脚の洗掘状況

7. 課題

今回の測定結果は、河川定期縦横断測定のうち、横断測定の代替としては有効であったが、縦断測定の多くの項目は従来の測量による必要がある。その理由として、縦断測定の計測対象である距離標、水位標、橋の桁下など、ピンポイントで標高値を捉えることが困難であることが挙げられる。

また横断測量においても、特殊堤、堤脚水路、階段工

など狭い範囲の中で多数の形状変化点があるような構造物の形状を捉えることや、橋梁や水門、高潮堤防の波返し部などの形状を捉えることも困難であり、それらを補う補備測量が必要となる。

8. まとめ

ここでは三重河川国道事務所で実施したALBについて紹介した。ALBは水深や濁度の影響を受けるため条件によっては深淺測量(補測)が必要であるが、三重河川国道事務所管内の河川では、影響を受けることなく適用することができた。

ALBには先に述べたように改善すべき課題は残っているものの、作業時間が大幅に短縮できることや、これまで困難であった水域の経年変化が、面的に把握できることは大きなメリットであり、今後継続して行う価値はあると言える。今後もALBを活用し、より高いレベルで河川の計画・調査・管理を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 中村圭吾, 福岡浩史, 小川善史, 山本一浩: グリーンレーザ(ALB)による河川測量とその活用, RIVER FRONT Vol. 84, 2017年3月
- 2) 山本一浩, 中村圭吾, 福岡浩史, 戸村健太, 金田真一: グリーンレーザ(ALB)を用いた河川測量の試み, 河川技術論文集, 第23巻, 2017年6月