

ALBを活用した海岸維持管理の高度化

いわべ 岩部 のりやす 然育¹・土井口 どいぐち 華絵¹・加藤 はなえ かつとう 英紀¹・片山 ひでき かつやま 美可¹・田中 みか たなか 昭幸¹ あきゆき

¹国際航業株式会社 河川海洋部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1)

現在、侵食が問題となっている海岸管理の一環として、陸部は航空レーザ測量、水部は深淺測量等、複数の手法で計測を行っている。しかし、同一時期に計測されないことによりデータ間に不連続等が生じ、海浜地形の変化を正確に捉えられない要因になっている。また、地形や波の状況によって予定通りに測量を行えない場合も多く、総じて、コストがかかる割に精度が低いという大きな課題がある。そこで本検討では、ALBを用い、その適用性について検証した。その結果、従来と同様の計測精度を確保しつつ、その工期は、従来の5日間に比べて1時間と大幅に短縮された。また、ALBを活用した砂浜の健全度評価(フロー)を立案し、効果的な海岸管理手法としてとりまとめた。

Key Words : 航空レーザ測深, ALB, 健全度評価, 養浜海岸, 維持管理, i-Construction

1. はじめに

新潟港海岸(西海岸地区)(以後、新潟西海岸とする)は、信濃川が運ぶ土砂が日本海に流出して堆積、発達した砂浜海岸である。上流部の河川改修等の影響により流出土砂が減少し、海岸汀線は明治後期と比較し最大350 mほど後退した。このような背景から当該海岸では、1989年より潜堤(L=2.39 km)、突堤(第1~5突堤)、大規模養浜(3区画で延べ約110万 m³)を組み合わせた面的防護方式による侵食対策を実施している。

現在、海岸管理のための砂浜の点検は調査員の目視による巡視によって行われており、地形測量は、陸上は水中の計測が困難な近赤外パルスレーザによる航空測量、水中は船舶から扇状に音響ビームを照射して面的に海底地形を捉える深淺測量(ナローマルチビーム 以後、NMBとする)等、異なる手法を組み合わせで行われている。

今後の対策を検討するためには、このような複数のデータを統合して一つのデータにした上で汀線位置や海浜地形全体の変化を総合的に判読する必要がある。しかし、測量日時が異なると、汀線部が不連続になり正確な変化が把握できない課題が生じる。

さらに、従来の方法では、地形や水深によって人や調査船が入れない場所、波により危険な場合は計測すら困難という課題もある。

昨今、これらの課題解決の一助となる新技術として、水陸を同時に計測可能な航空レーザ測深(Airborne Laser Bathymetry 以後、ALBとする)が注目されている。ALBは、航空機から波長の異なる2つのレーザ(近赤外パルスレーザ、及び水中を透過し水底で反射するグリーンパルスレーザ)を照射

し、反射の時間差から水深を求める計測システムである。測深の性能はセッキ板を用いた透明度のおよそ1.5倍とされている。取得データは三次元かつ高密度であり、短時間で広範囲を計測することが可能であり、近年ではi-Constructionの推進やインフラ分野のDXに多く活用されている。

そこで、本検討では、砂浜管理のための地形計測手法におけるALBの適用性を確認するとともに、大規模養浜を行う新潟西海岸の維持管理の高度化・効率化の視点から、海岸モニタリング手法としてのALBの活用とその有効性を検証した。

2. 砂浜管理のための地形計測手法の検討

例えば、他の直轄海岸である下新川海岸や仙台湾沿岸では、河口や地形変化が大きい重要箇所はALBやNMBにより地形を把握し、それ以外は横断測量や船舶の真下に音響ビームを照射し線的に海底地形を捉えるシングルビームにより測線の断面データを取得している等、複数の手法を組み合わせで砂浜管理を実施している。このような事例を踏まえつつ、当該海岸に適した計測手法の検討を行った。

当該海岸の特性として、汀線後退量が大きい1, 2, 4区画(図-1)において大規模な養浜を実施し、汀線の前進や浜幅の回復を図っている。また、海岸背後には護岸等の防護施設がなく、砂浜が最終防護施設である。そのため、砂浜の侵食が進むと背後の海岸道路等に大きな影響(道路への越波等による交通規制)を及ぼす可能性があり、養浜後の地形状況を詳細に把握する必要がある。しかし、従来の測線間隔25 m、測点間隔5 mでは、データ密度が粗く、詳細に変化を捉えるには不十分という課題があった。

そこで、当該海岸の特性、条件等から地形情報を合理的かつ適切に取得できる手法を検討し、選定するものとした。なお、選定に至る過程を図-2のようにフローで分かりやすく示すことにより、全国の他の海岸の検討でも活用できるように工夫した。

当該海岸におけるフローによる選定過程を概説する。まず、1つ目の【詳細地形の必要性】は、汀線後退量が大きく、砂浜の背後に防護施設がなく、砂浜地形を常に細かく漏れなく管理する必要があるため「必要」になる。次に、【計測面積の大きさ】は、陸上から移動限界水深である8 m¹程度までの合計は0.36 km²であるため「0.2 km²より広い」となる。UAVの積算基準の標準面積は0.2 km²以下であり、それより広い面積になると、回転翼や固定翼での計測のほうが優位になる可能性がある。最後に、【測量範囲の制約】は、当該海岸では、海岸構造物（突堤や離岸堤）の設置によって調査船で測量することが困難な箇所が存在し、測量範囲に制約を受けることとなるため、「有」となる。

以上により、条件に合う手法はALBとなった。

なお、新潟西海岸は、移動限界水深が8 m¹であることから、ALB単一手法での計測が可能である。

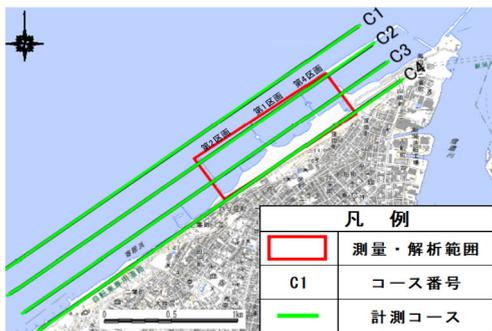


図-1 計測範囲図

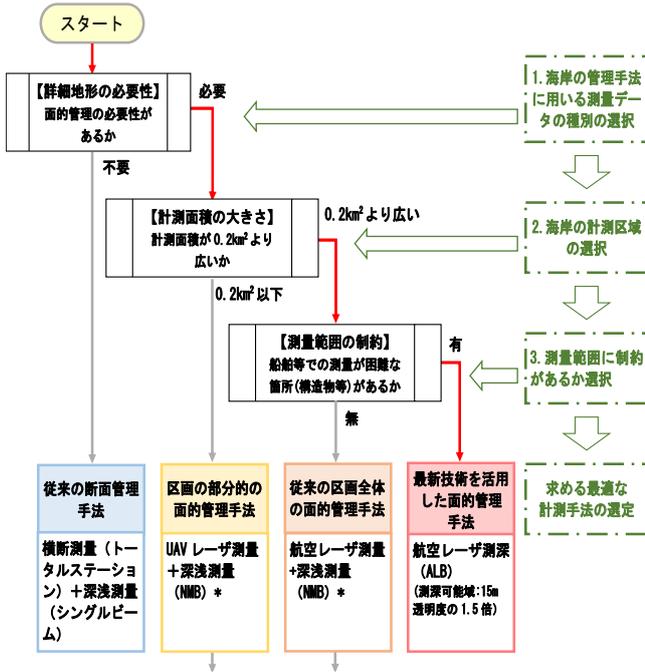


図-2 計測手法の選定フロー

3. ALBの計測概要

2020年9月21日にALB計測を行った。また、ALBの計測結果の精度検証を目的として、2020年9月23日、26日から10月1日にかけて同一範囲で深浅・汀線測量を実施した。なお、ALB計測は回転翼（ヘリコプター搭載）を用いて1時間程度で実施した。ALB計測当日の有義波高は約0.5 m、透明度は4.5 m、浮遊物質（SS）は1 mg/L、水質計による濁度は1 FTU程度であった。

4. 計測結果の検証

(1) ALBの計測結果

ALBで計測したデータを用いて作成した鳥観図を図-3に示す。地形変化の大きな汀線部や構造物周辺も含め、陸上部から海底部までシームレスな詳細地形を取得でき、海底部は概ね水深7~8 m程度（透明度の1.5倍以上）まで測深できることが確認された。

(2) 計測結果の精度検証

ALB計測結果（1 m×1 m間隔）と深浅・汀線測量の計測結果（測線間隔25 m，測点間隔5 m）から5 m間隔に格子化した水深データを作成し、それらの差分を整理することで精度の比較検証を行った。図-4に地形差分図を示す。

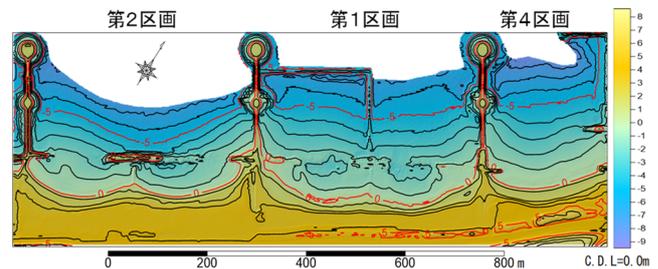


図-3 ALBの計測結果を用いて作成した鳥観図

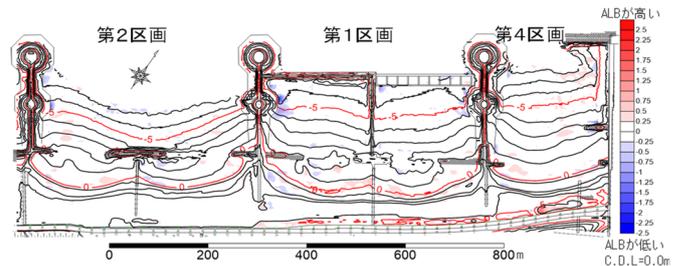


図-4 深浅・汀線測量とALBの地形差分図

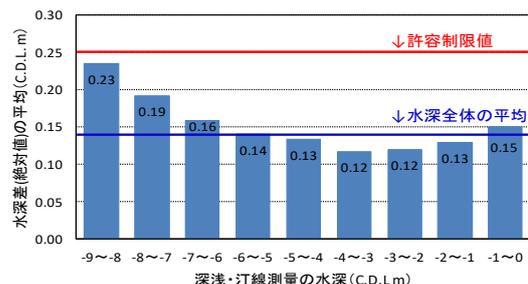


図-5 水深ごとの水深差（絶対値）の平均

図-4を見ると、水深差が許容制限値*に収まる面積（海岸構造物を除く砂浜地形）は全体の約90%を占めており、ALBによる計測が深浅・汀線測量と同程度の精度を確保されることを確認した。

また、水深別に水深差（絶対値）を整理した結果を示した図-5を見ると、水深差（絶対値）の平均は0.14mであり、許容制限値*以内であった。

本検証結果は、中村²⁾、壺岐ら³⁾、琴浦ら⁴⁾が行った検証の結果とも概ね一致していることから、ALBは新潟西海岸の移動限界水深である水深8m¹⁾程度までは従来手法と同程度の精度を保った計測であり、海岸管理に用いる計測手法として提案できる。
※「水路測量関係規則集」による特級の水域における測定誤差の限度である±0.25m

5. ALBを用いた砂浜健全度評価の試行

当該海岸では、砂浜の管理基準として、各区画で砂浜幅の砂浜健全度指標（陸側、沖側の不動点位置）が定められている（表-1、2）。

表-1 砂浜健全度指標

	A (要事後保全)	B (要予防保全)	C (要監視)	D (問題なし)
考え方	波のうちあげ高>道路高か後浜天端高の浜幅	一時的な後退量5m	供用期間に対応した浜幅	供用期間以上
	浜幅 A未滿	$A \leq B < (A + 5m)$	$B \leq C < (B + \text{供用期間} \times \text{汀線後退速度})$	浜幅 C以上
健全度指標	浜幅 35m未滿	$35m \leq \text{浜幅} < 40m$	汀線後退速度0.4m/年 50年間: 0.4m/年×50年=20m $40m \leq \text{浜幅} < 60m$	浜幅 60m以上

表-2 各区画の不動点及び計画断面勾配

	第4区画	第1区画	第2区画
陸側不動点	C.D.L+4.0m	C.D.L+4.0m	C.D.L+3.6m
沖側不動点	C.D.L-8.0m	C.D.L-8.0m	C.D.L-8.0m
前浜勾配	1/10	1/12.5	1/12.5
外浜勾配	1/28	1/30	1/30

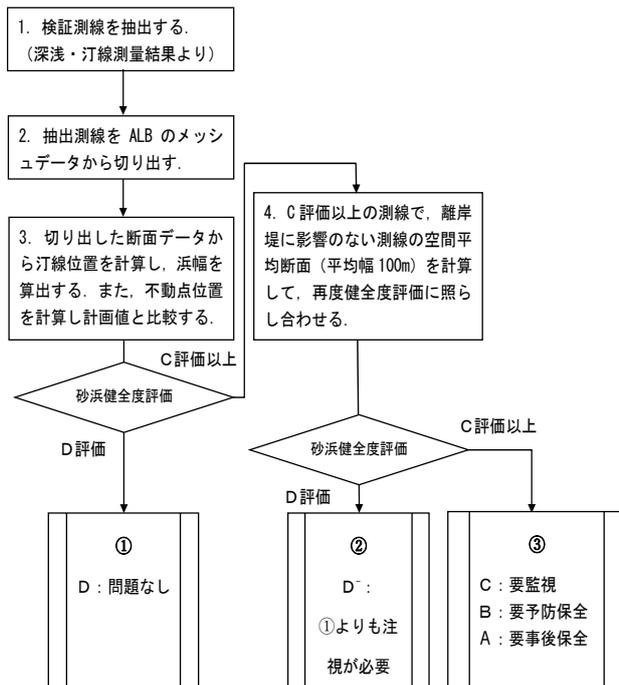


図-6 ALB計測を用いた砂浜健全度評価の解析方法

砂浜健全度指標は、表-1に示す通り、浜幅が60m以上で「D（問題なし）」であり、35m未滿では「A（要事後保全）」となる。

また、当該海岸の陸側不動点位置は、表-2に示す通り、基準線から前浜天端肩までの距離、沖側不動点位置は基準線からC.D.L=-8.0mまでの距離と定義されている。

そこで、今後ALBの計測データを活用した砂浜管理を行うための試行として、2020年9月に計測した結果と2021年10月に計測した結果を用いて、各区画の砂浜健全度評価を検討するとともに、不動点位置及び計画断面勾配の比較を行った。

(1) 健全度評価

ALBを活用して健全度評価を行うための指針となる考え方を立案した。ここでは、事務所全体の理解や後任担当者への引継ぎやすさ等を考慮し、分かりやすいフローで図示することに留意した。（図-6）

まず、フローに基づき検証するための測線として、2021年6月に実施した汀線測量結果より、道路境界からC.D.L.±0.0mまでの距離が最も短い5測線を設定した（図-7）。次に、抽出した測線でALB計測データから横断データ（測点間隔1m）を切り出し、浜幅を計算して健全度指標と照合した。

この結果「A」「B」「C」評価となった場合は、汀線位置の一時的な前進や後退といった変動で評価を確定するリスクの低減のため、各区画の東側、西側での全体的な浜幅で再評価した。このことにより、評価精度が向上するよう工夫した。

再評価は、各区画の東西の既設離岸堤の影響を受けない測線の空間平均断面（平均幅100m）に対して健全度指標と比較した。空間平均断面は、5mごとに切り出した計20断面を平均し作成することで精度の向上を図った。

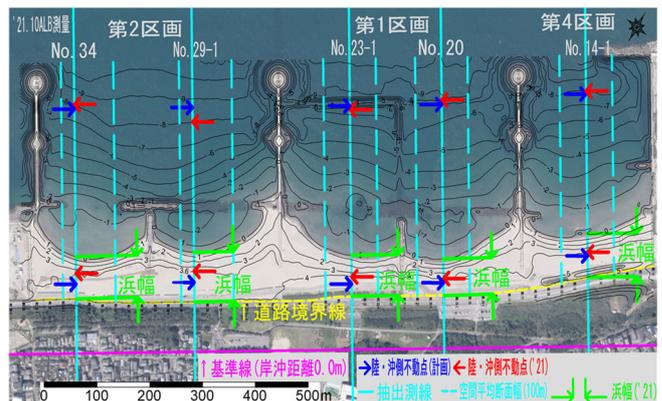


図-7 各抽出断面、浜幅及び不動点位置

表-3 ALB計測を用いた砂浜健全度評価結果

	No. 14-1	No. 20	No. 23-1	No. 29-1	No. 34
	第4区画	第1区画	第1区画	第2区画	第2区画
2020.9 浜幅					
道路境界からC.D.L. 0.0mの距離	70.4	60.9	67.9	83.4	82.8
2021.10 浜幅					
道路境界からC.D.L. 0.0mの距離	67.5	63.3	66.3	78.9	68.0
健全度	浜幅 ≥ 60m D				

※2021.10 No.20は空間平均断面の値

単位:m

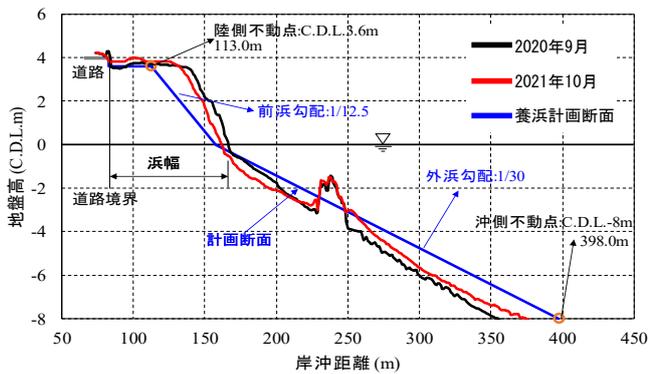


図-8 第2区画 (No. 29-1) の断面

表-4 ALB計測を用いた不動点位置, 勾配比較

2021.10 ALB結果		No. 14-1	No. 20	No. 23-1		No. 29-1		No. 34
		第4区画	第1区画 東側	第1区画 西側	第2区画 東側	第2区画 西側	第2区画	
陸側不動点位置 (基準線から後浜天端肩の 距離)	現況	154.3	114.2	119.3	132.1	132.1	132.1	
	計画	147.0	107.0	107.0	113.0	113.0	113.0	
沖側不動点位置 (基準線からC.D.L.-8.0mの 距離)	現況	417.2	405.4	390.5	375.2	375.2	404.4	
	計画	411.0	397.0	397.0	398.0	398.0	398.0	
前浜勾配 (陸側不動点から汀線位置 の勾配)	現況	1/7	1/7	1/8	1/8	1/8	1/7	
	計画	1/10	1/12.5	1/12.5	1/12.5	1/12.5	1/12.5	
外浜勾配 (汀線位置から沖側不動点 の勾配)	現況	1/29	1/32	1/29	1/26	1/26	1/31	
	計画	1/28	1/30	1/30	1/30	1/30	1/30	

単位: m

空間平均断面の浜幅が60 m以上の場合、「D」：①よりも注視が必要」(図-6, ②)とし、空間平均断面でも「A」「B」「C」となった場合、その評価が区画の評価となることとした(図-6, ③)。

砂浜健全度評価を実施した結果を表-3、第2区画の評価結果を図-8に示す。健全度を整理した結果、2021年10月の第1区画の測線No.20以外の区画(測線)において、「D」評価となり、問題がないことが確認された。第1区画の測線No.20は、単一断面での健全度が「C」評価であったため、図-6に示す通り、空間平均断面で再評価を行った結果、空間平均断面の浜幅が60 m以上で「D」評価となる。当該箇所は、他の区画よりも注視が必要であることが確認された。

(2) 不動点位置及び計画断面勾配の比較

健全度評価と同一の測線において、ALB計測結果から算出した不動点位置について、計画値と比較した結果を表-4、図-8に示す。なお、ALBで水深8 mまで計測できなかった測線では、計画外浜勾配で外挿して、沖側不動点位置を算出するよう工夫した。

その結果、陸側不動点位置は、全測線で計画値よりも沖側に位置していることが確認された。沖側不動点位置は、第2区画(No.29-1)で計画値に比べてやや岸側に位置していたが、2020年9月の結果に比べ2021年10月は計画値に近づいていることが確認された。また、その他の沖側不動点位置、外浜勾配は計画値と概ね一致しており、前浜勾配は全体的に計画値よりも急勾配となっていた。なお、不動点位置は、断面形状の変化や海浜勾配にも影響するため、今後も浜幅と同様にモニタリングしていくことを提案した。

6. まとめ

本検討で得られた主な結果を以下にまとめて示す。

- (1) 当該海岸においての計測期間は、従来手法が5日程度であったのに対し、ALBでは、1時間程度に大幅に短縮された。また、従来手法に比べ、ALBでは1 m×1 m間隔でデータを取得でき、より詳細に地形を把握することが可能となった。さらに、調査員の定性的な目視点検に比べ、統一的な基準の定量的な評価が可能となったため、管理水準の向上に寄与することができた。
- (2) ALBによって、当該海岸の移動限界水深である8 m¹⁾程度まで測深することができた。このことにより、地形変化の大きな汀線部を含め、陸上部から海底部までのシームレスな詳細地形のモデリングが可能となった。
- (3) ALBの計測結果を用いて浜幅健全度評価を立案、試行した結果、養浜計画断面の陸側、沖側不動点位置及び前浜、外浜勾配を単一手法で確認でき、新たなモニタリング手法の礎となった。
- (4) ALBを用いることで解析工程の大部分が半自動的に行え、統一指標での比較・評価が可能となり、省力化や技術者不足の解消が期待できる。

7. 今後の海岸管理

本検討では、ALBの断面地形を用いて、浜幅の健全度評価の解析手法の確立と浜幅健全度、不動点位置、勾配を定量的に評価することができた。今後は、ALB計測最大のメリットである、陸上から水中までのシームレスな三次元詳細地形に加え、同時にデータ取得が可能な垂直写真画像(オルソ画像)の活用を行う。結果、的確な保全対策の必要箇所の抽出と養浜等の計画立案、対策工事までの予防保全を効率的に実施することが期待される。

謝辞: 本稿では、国土交通省北陸地方整備局新潟港湾・空港整備事務所より受託した業務成果の一部を引用しました。業務にあたり種々示唆いただいた新潟港湾・空港整備事務所海岸課の皆様、関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 奥田聡, 渡辺義, 田中隆洋, 平池智広, 片野明良: 砂浜の維持管理における健全度指数, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol73, No.2, PI_1567-I1572, 2017.
- 2) 中村聡志: 砕波帯内における航空グリーンレーザー測定の精度検証, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol74, No.2, I_1447-I1452, 2018.
- 3) 壺岐信二, 藤山達生, 門脇極, 横田智映, 渡辺智晴, 黒沼徳満, 塚本吉雄: グリーンレーザーによる北海道留萌海岸の測量, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol75, No.2, PI_115-I_120, 2019.
- 4) 琴浦毅, Sivaranjani JAYAPRASAD, 今野洋幸, 宮作尚宏, 堺浩一, 間野耕司: 港湾事業における航空機測深技術 ALB 活用に関する検討, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol75, No.2, PI_109-I_114, 2019.