

消波ブロックを対象とした 点群データの評価手法の検討

西 広人¹・琴浦 毅²

¹ 正会員 五洋建設(株) 技術研究所 土木技術開発部 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: Hirohito.nishi@mail.penta-ocean.co.jp (Corresponding Author)

² 正会員 五洋建設(株) 技術研究所 土木技術開発部 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: tsuyoshi.kotoura@mail.penta-ocean.co.jp

消波ブロックは施工延長が長大であることやブロック直上での作業が安全管理上困難なことから、「ICT機器を用いた測量マニュアル(ブロック据付工編)」も最新の研究を踏まえて更新されるなど、UAV測量の活用が期待されている。しかし、消波ブロックの取得点群データの評価・活用方法について検討した事例は少なく、活用にあたって十分な知見が不足している。そこで本研究では、模型や現地にて取得したデータを用いて消波ブロックの点群特性を把握し、活用に向けた評価手法の検討を行った。

その結果、点群データを用いた外観での確認手法の適用性と設置向きにおける消波ブロックの点群特性を踏まえた面的評価検討を行い、最高値を採用することで面的評価が可能であることが確認できた。施工延長に長大な消波ブロックの出来形、現状把握に有効な手段であり、今後の効率的な管理への適用が期待できる。

Key Words : UAV, ICT, wave-dissipating block, survey, point cloud, area evaluation

1. はじめに

UAV(unmanned aerial vehicle)はセンサ性能の発達や安価で入手できることから様々な分野で活用が期待されている。レベル4(有人地帯上空の目視外飛行)実現に向けた操縦ライセンスや機体の登録制度などの整備や、広範囲をカバーするLTE通信を用いた機体制御技術の開発等、今後の活用が加速化すると見込まれる。建設業でもi-Constructionの推進によるBIM/CIMや点群データの活用拡大に伴い、UAV活用の幅も広がっており¹⁾²⁾、写真測量、近赤外レーザ測量、グリーンレーザ測量等様々な測量手法が普及³⁾し、広範囲の測量作業省力化及び調査から維持管理までの各段階で活用されている。

港湾工事においても、ICT浚渫工をはじめとしたICT技術を用いた出来形管理⁴⁾等が普及し、UAV測量の活用も広がっている。施工延長が長大かつブロック直上での作業が安全管理上困難という特徴を持つ消波ブロックは、UAV測量を適用することで省力化・無人化への寄与が期待されるなか⁵⁾、筆者らもUAV写真測量の消波ブロックへの適用性について検討⁶⁾を行い、定量的な計測手法を提案した。また、「ICT機器を用いた測量マニュアル(ブロック据付工編)」⁷⁾にはUAVを用いた定量的な測量手法が記載されており、消波ブロックを簡便に高精度で計測

する手法が確立されたことで、消波ブロックに対するUAV測量活用の動きが高まっている。

一方、消波ブロックの評価方法は施工出来形の管理時であれば延長計測⁸⁾(表-1)、災害時の点検では目視確認⁹⁾(表-2)に留まっており、従来管理手法では消波ブロックの面的形状を詳細に把握することは困難である。また、UAV測量により取得した点群データを用いての評価については、川口ら¹⁰⁾により、消波ブロック点群データを平面格子に区切り、各格子内の高さ方向の最高値及び平均値を用いて設置高さの評価を行う検討が行われているものの、その他の検討事例が少なく評価手法が確立されていない。

そこで本研究では、UAV測量で取得した点群データを用いて従来管理手法の代替活用技術としての効果検証に加え、消波ブロック計測データの点群特性を踏まえた広範囲を効率的に管理可能な面的評価手法の検討を行った。

2. UAV計測概要と従来管理手法への適用

UAV測量の計測手法は、UAVに搭載されたカメラで画像を撮影するUAV写真測量と、UAVに搭載されたLiDAR(Light Detection And Ranging)を用いて対象物まで

表-1 港湾工事出来形管理基準 (抜粋)

工種	管理項目	測定方法	測定密度	測定単位
消波ブロック 据付	延長	スチールテープ等 により測定	据付完了後 法線上(最上段のみ)	10cm

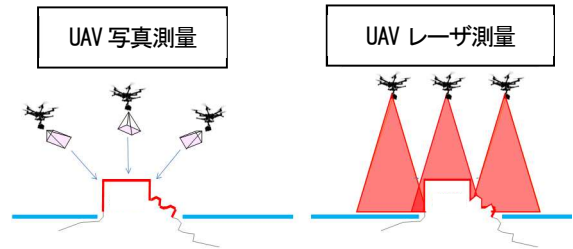


図-1 UAV計測手法模式図

表-2 港湾の施設の点検診断ガイドライン (抜粋)

点検診断の項目	点検方法	劣化度の判定基準
消波工 移動, 散乱, 沈下	目視 ・消波工の天端, 法面, 法肩等の変形 ・消波ブロックの移動や散乱	a: 点検単位長に亘り, 消波工断面がブロック1層分以上, 減少している。 b: 点検単位長に亘り, 消波工断面が減少している(ブロック1層未満) c: 消波ブロックの一部が移動(散乱・沈下)している。 d: 変状なし。

表-3 使用点群データ諸元

	設計高さ(m)	ブロックサイズ(t)	投影距離(m)	格子数
地点A	3.10	20	3.3	90
地点B	6.94	80	5.5	18

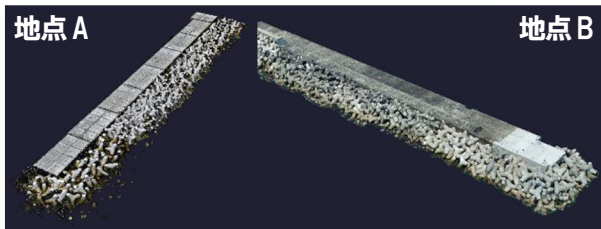


図-2 各地点点群データ鳥瞰図

の距離を計測するUAVレーザ測量の2種類に大別される(図-1)。3次元座標を持つ点の集合体である点群データの取得が可能で、体積の算出や面形状の確認等で広く活用されており、編集のためのソフトウェアなどが普及している。本検討でも、UAV写真測量によって取得した点群データを用いて、従来管理手法への適用を図った。地点A, Bの鳥瞰図を図-2、点群データ諸元を表-3に示す。なお、今回の検討では消波ブロックの高さと脚間距離の平均値を投影距離とした。

(1) 出来形管理従来手法への適用

取得した点群データは3次元座標を持つため、延長計測や天端高計測が可能であり、点群処理ソフトウェア内で計測を行ったところ、点群データ内の延長方向の計測値は従来と出来形評価と同等であった。さらに、設計断面での天端高や幅、人が立ち入れない法面部などの計測が可能のため従来手法に比べてより詳細な消波ブロック形状の把握が可能である。

(2) 目視点検従来手法への適用

図-3に示す正面図及び断面図より、消波ブロック最上段と隣接する上部工天端が同一高さであることが確認できる。また、正面や断面だけでなく任意の視点で消波ブロック最上段の形状確認ができるため目視確認の代替と

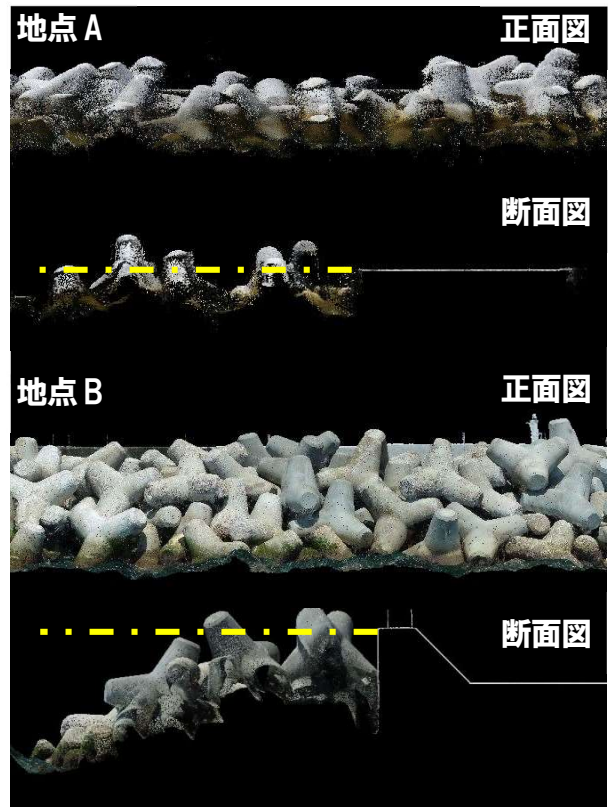


図-3 各地点における正面図及び断面図(写真)

して有用であることが確認できた。

3. 消波ブロックの点群特性

消波ブロックの天端高は消波性能に大きく影響することから、天端高を詳細に把握することは重要である。前述した点群データの従来手法代替利用では任意断面のみの高さ把握は可能であるが、長大な範囲を断面で評価するのは効率的ではない。そこで、ナローマルチビーム取得点群を活用した面的評価を採用しているICT浚渫工を参考に、消波工における面的評価を実現するために点群特性把握を行った。

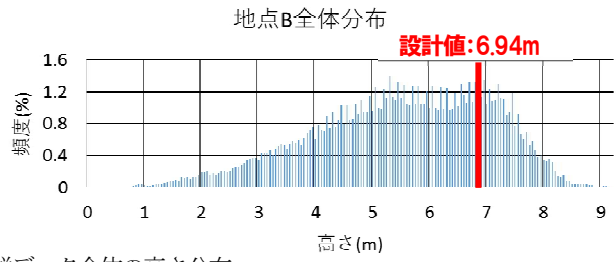
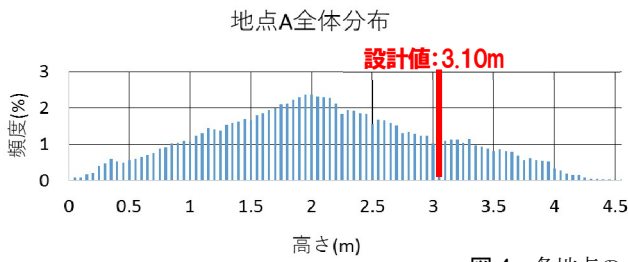


図-4 各地点の点群データ全体の高さ分布

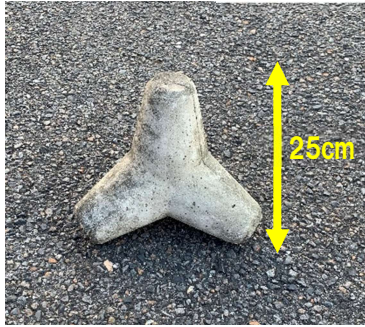


図-5 消波ブロック模型

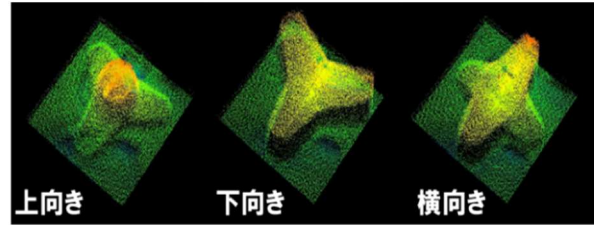


図-6 模型点群データ

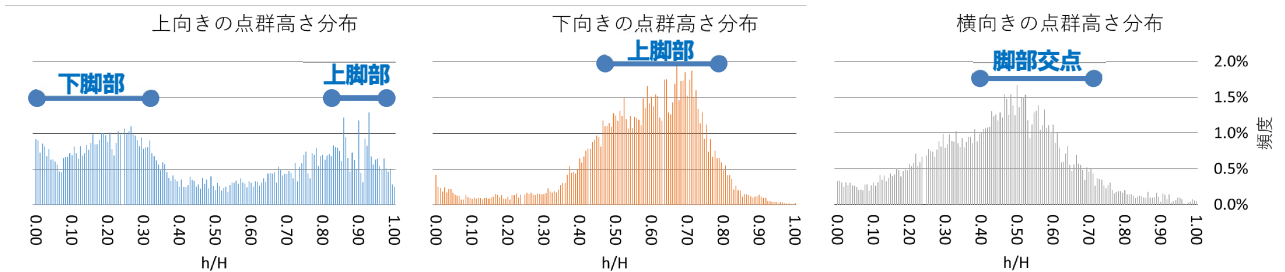


図-7 模型計測による設置向き毎の高さ分布及び代表値

表-4 模型計測による設置向き毎の統計値

	最頻	平均	上位1/5平均
上向き	0.92	0.47	0.91
下向き	0.66	0.59	0.77
横向き	0.49	0.41	0.7

(1) 消波ブロック全体での点群特性

地点 A, B で取得した点群データの内, 法面を除く天端面のみの 1cm 毎の高さ分布を示す図-4 では, 両地点とも設計値より 1~2m 下がりの方の頻度が高い. 加えて, 設計値を上回る部分も取得されていることがわかる. しかし, 消波ブロック単体での形状が複雑なことや空隙が多いこと, 咬み合わせを考慮した施工となることから, 全体を任意サイズの平面格子で分割した際に様々な向きの消波ブロックが含まれたデータであることが予想されることから, 全体分布を用いて適正な面的評価を行うことは困難である.

(2) 消波ブロックの向きによる点群特性

複雑な形状を持つ消波ブロックの個別点群特性を把握するために, LiDAR を用いて消波ブロック模型 (図-5)

を図-6 に示す 3 パターンの向きで取得した点群データの高さ分布を図-7 に示す. なお, 真上からの計測のみとし, 消波ブロック模型は高さ 25cm のものを使用した. 図-7 の横軸は取得点群の高さ h を消波ブロック模型の高さ H で除した値を用いて無次元量である. 各向きにおける最頻値は, 上向きでは上に突き出した上脚部と接地している下脚部付近, 下向きでは上に向いた 3 本の上脚部付近, 横向きでは脚部の交点付近と場所が異なる. また, 平均値は 0.41~0.59, 上位 1/5 平均値は 0.7~0.91 と一様ではなく (表-4), 消波ブロックは向き毎に異なる点群特性を持つことが確認された.

(3) 計測手法による点群特性

現地で実施される UAV 測定のうち, UAV 写真測量は撮影した写真より点群データを SfM (Structure from Motion) 処理によって抽出するため, UAV レーザ測量と比べると取得する点群データの計測面に対する点のばらつきは少ないが, 消波ブロックのように空隙の多い構造物の場合, 影や水部の写り込みの影響により点群データを補間生成する場合がある. それに対して, UAV レーザ測量は対象物へ直接レーザを照射して反射パルスを捉えて点群を生成するため, 消波ブロックの空隙部のような対象

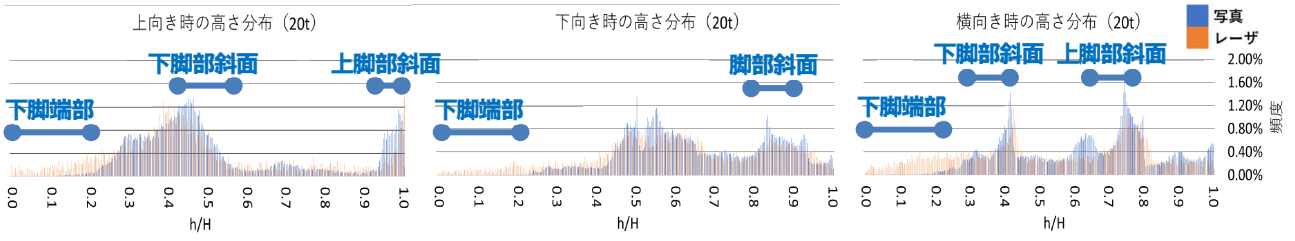


図-8 地点Aの設置向き毎の高さ分布

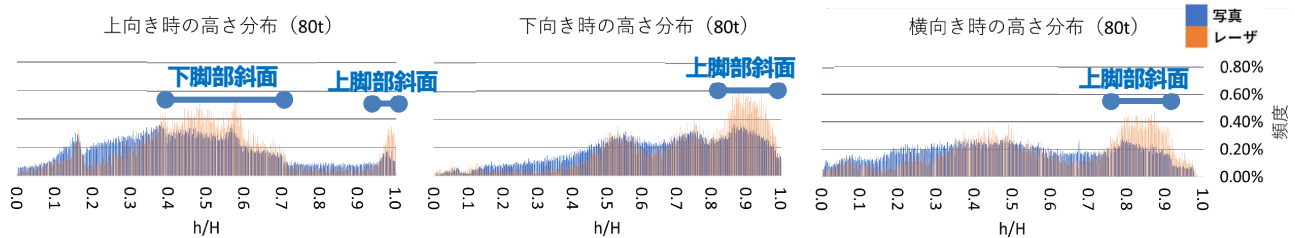


図-9 地点Bの設置向きによる高さ分布

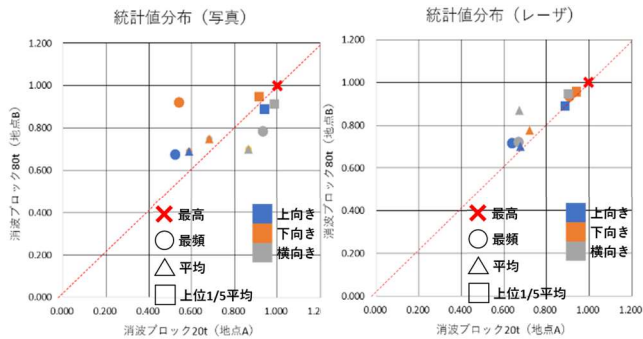


図-10 UAV写真測量の統計値分布

表-5 各地点での統計値

		消波ブロック20t (地点A)			消波ブロック80t (地点B)		
		最頻	平均	上位1/5平均	最頻	平均	上位1/5平均
写真	上向き	0.522	0.587	0.938	0.676	0.690	0.889
	下向き	0.539	0.682	0.914	0.923	0.749	0.950
	横向き	0.931	0.865	0.984	0.787	0.701	0.915
レーザー		消波ブロック20t (地点A)			消波ブロック80t (地点B)		
		最頻	平均	上位1/5平均	最頻	平均	上位1/5平均
	上向き	0.636	0.679	0.887	0.717	0.702	0.891
	下向き	0.908	0.723	0.942	0.938	0.775	0.958
	横向き	0.669	0.673	0.901	0.723	0.869	0.947

物がない場合には欠測となるが、UAV写真測量では捉えることができないわずかな間隙でも計測が可能な場合がある。また、レーザーに対して計測面が斜や平行の構造物は、計測面が垂直の構造物に比べて反射するレーザー光が減少するため点密度は減少する。したがって、それぞれの測量手法に起因する誤差が存在するのが通常である。

ここで、ブロックサイズの違う地点A、Bで取得した現地データより、点群処理ソフトを用いて代表的な設置向き3パターンの点群データを抽出し、抽出した点群データから得られた各設置向きの高さ分布を図-8、図-9に示す。地点Aでは、上脚部斜面でUAV写真測量時の点群データの頻度が高く、下脚部付近ではUAVレーザー測量時の点群データの頻度が高い。これは、わずかな間隙を通過して得られたデータであると考えられる。しかし、地点Bではいずれの向きでも脚部斜面でUAVレーザー測量の点群データの頻度が高い。これは、消波ブロックのサイズが大きくなったことで平面部分が増加し、データをより取得できたためと考えられる。

以上より、消波ブロックを対象にしたUAV測量で取得された点群データは、計測手法毎に異なる点群特性を持つことが確認された。

(4) 面的評価時の採用値の検討

現地で施工する消波ブロックは、現地環境や用途によりサイズが異なる場合が多いため、サイズ毎の点群特性を把握するための検討を行った。

表-5に示すサイズの違う消波ブロックを用いた各地点での統計値（取得点群の高さ h を消波ブロックの高さ H で除した値を用いて無次元量）と図-10に示すその分布より、地点間で各統計値を比較した較差は、最頻値で最大0.384、平均値で最大0.196、データ処理で除去が困難な細かいノイズの影響が小さいと考えられる上位1/5平均値でも最大0.049となった。これは、ブロックサイズが大きくなるにつれて平面部分の点群データが斜面部分に比べて増加し、統計値に与える影響が大きくなるためだと考えられ、消波ブロック単体での最頻値や平均値等の統計値は、ブロックサイズで異なる特性を持つことが明らかとなった。

したがって、前節で述べた消波ブロックの設置向きや計測手法に加えてブロックサイズでも異なる点群特性を持つことから、面的評価時の代表高さとして統計値を用いることは困難である。よって、ブロックサイズや設置向きがいずれの場合にも同等の評価が可能な指標として最高値を用いての面的評価検討を行った。

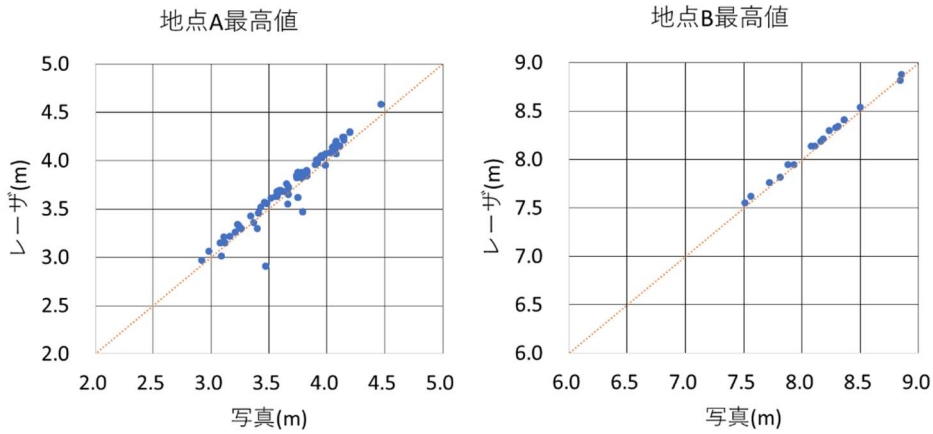


図-11 各地点での計測手法による最高値での相関

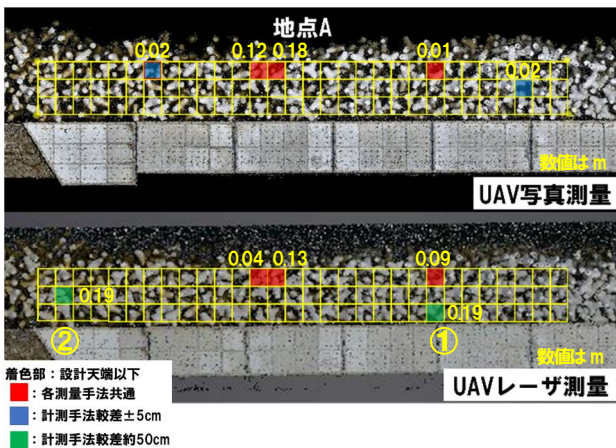


図-12 地点 A での最高値を用いた面的評価結果

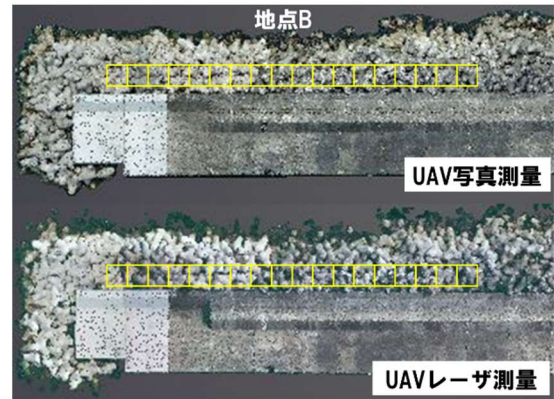


図-13 地点 B での最高値を用いた面的評価結果

4. 最高値を用いた面的評価検討

消波ブロックを面的評価するにあたり、図-4 に示すような全体分布では消波ブロックの設置向きに起因する点群特性により評価が難しく、極小な格子サイズを適用すると消波ブロックの機能特性上大きな空隙が存在するため過小評価となる懸念があることと、ブロックが2つ以上入るような極大な格子サイズを適用した場合は天端幅の評価が困難であると考えたため、平面分割する格子サイズは表-3 に示す消波ブロックに応じた投影距離とした。消波ブロックを面的に評価するために、地点 A, B の天端範囲を消波ブロックの投影距離で平面格子に分割し、平面格子内の最高値について写真測量、レーザー測量の結果を図-11 で比較した。その結果、異なる計測手法の最高値は、ブロックサイズによらず高い相関があり、各格子の最高値を採用することで異なる計測手法でも同等の面的評価が可能となることが示された。

次に、各地点の UAV 写真測量及び UAV レーザ測量で取得した点群データを図-11 の条件で平面格子に分割し、各格子の最高値をそれぞれ代表高さとして設計天端高と比較した地点 A の結果と設計値との差分値を図-12、地

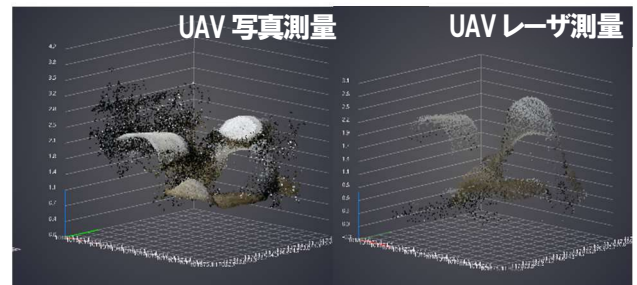


図-14 地点 A の写真・レーザー格子内点群データ

点 B の結果を図-13 に示す。

地点 A において、着色した 5 格子が設計天端高を下回る結果となった。各測量手法を比較すると、赤色格子は各計測手法で共通であり、設計天端高との較差は 0.1cm 程度であった。UAV 測量では高さ方向の誤差が±5cm 許容されており、UAV 測量自体が持つ誤差が内包されていることを考慮すると、各格子の最高値を用いることで面的評価が可能であることが確認された。一方で、青色格子及び緑色格子は計測手法によって異なり、青色格子は測量手法での較差が±5cm、緑色格子は UAV 写真測量が UAV レーザ測量に比べて約 50cm 高くなった。ここで、大きな較差のあった緑色格子の①について点群データを示した図-14 より、UAV 写真測量では背面の上部工壁面の影に点群データが補間生成されていることがわかる。一方で、UAV レーザ測量では消波ブロック以外に点群は

見当たらない。また、もう一方の緑色格子の②については消波ブロック付近の水部の影響により、UAV 写真測量で点群データが補間生成されていたため較差が発生していた。よって、今回の評価値の較差は前述した計測手法の特徴によるものであると考えられ、壁面や水部の影響を考慮して評価する必要が示された。

地点 B では最高値を採用して面的評価を行った場合、設計天端高を下回る格子はなく、写真とレーザの較差は小さい。これは、地点 A とは異なり水面がないことや上部工より消波ブロックが上方に設置されていることで、上部工壁面の影や水部が近いことなどの較差を発生させる要因が少ないためだと考えられる。

5. まとめ

消波ブロックを対象に UAV 測量で取得した点群データを用いた検討を行った。その結果、従来管理手法における延長計測や天端高目視点検確認の代替評価が可能であることを確認した。また、模型や現地計測データを用いて消波ブロック全体や設置向き、計測手法、サイズで異なる統計値を持つという点群特性が確認できた。これを踏まえて、消波ブロックの投影距離寸法で分割した場合の面的評価手法を現地データに適用し、格子内の代表高さに最高値を採用した。その結果、最高値を採用しての面的評価は可能であるが、UAV 測量の内包する誤差を考慮する必要があることが確認された。今後は、UAV 写真測量の壁面や水面などに発生する補間生成された点群の対応及び異なるブロックサイズや形状、設計天端幅を考慮した格子サイズの選定等の検討を進める必要がある。また、今回は各格子内での最高値を採用して設計天端高

と比較したが、点検診断ガイドライン記載のブロック 1 層未満、1 層以上減少などを評価し、劣化度毎の割合の算出や範囲の把握への活用のための基準策定など継続的な取り組みが求められる。

参考文献

- 1) 吉田英治, 井山繁, 鈴木啓介: 港湾分野における i-Construction 推進のための 3 次元データ等の活用に関する検討, 国土技術政策総合研究所資料 No1024, 2018.
- 2) 森智弘, 安藤智史, 大中晋, 近藤泰徳, 市川真吾, 栗津裕太: UAV 技術の海岸モニタリング測量への現地適用性に関する検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.76, No.2, pp.I_684-I_689, 2020
- 3) 西広人, 琴浦毅, 堺浩一, 今野洋幸: UAV を用いた消波ブロックの測量手法に関する検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.76, No.2, pp.I_690-I_695, 2020.
- 4) 国土交通省港湾局: マルチビームを用いた深淺測量マニュアル (浚渫工編) (令和 3 年 4 月改訂版), 2021.
- 5) 昇悟志, 橋田雅也, 萩原照通, 富永柚香, 山崎真史, 前川裕之: 3D データを活用した消波工の設計及び施工の効率化・高度化検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.74, No.2, pp.I_1-I_6, 2018.
- 6) 西広人, 琴浦毅, 堺浩一, 石塚淑大: 消波ブロックを対象とした UAV 写真測量の適用性検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.77, No.2, I_691-I_696, 2021.
- 7) 国土交通省港湾局: ICT 機器を用いた測量マニュアル (ブロック据付工編) (令和 3 年 4 月版), 2021.
- 8) 国土交通省港湾局: 港湾工事共通仕様書, 2021.
- 9) 国土交通省港湾局: 港湾の施設の点検診断ガイドライン (第 2 部 実施要領), 2014.
- 10) 川口真吾, 鶴田修己, 高阪雄一, 岡崎裕, 朝比翔太, 酒井和也, 鈴木高二朗: UAV を用いた港湾構造物の計測技術に関する検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.75, No.2, pp.I_121-I_126, 2019.

(Received February 3, 2022)

(Accepted May 9, 2022)

TARGETING WAVE-DISSIPATING BLOCKS EXAMINATION OF POINT CLOUD DATA EVALUATION METHOD

Hirohito NISHI and Tsuyoshi KOTOURA

Since the wave-dissipating block has a long shape in the extension direction and it is difficult to work directly above the block in terms of safety management, the "Surveying Manual Using ICT Equipment (Block Installation Work)" will also be updated based on the latest research. It is expected that UAV surveying will be used. However, there are few cases in which the evaluation and utilization methods of the acquired data of the wave-dissipating block have been examined, and sufficient knowledge is lacking in utilization. Therefore, in this study, we clarified the point cloud characteristics of the wave-dissipating block using a model and locally acquired data, and examined the evaluation method for utilization.

As a result, it was confirmed that the applicability to the appearance confirmation method using the point cloud data, the point cloud characteristics of the wave-dissipating block in the installation direction, and the validity of adopting the highest value in the area evaluation based on the point cloud characteristics were confirmed. The area evaluation is an effective means for grasping the shape and current status of a long wave-dissipating block in the extension direction, and is expected to be applied to efficient management in the future.