

# 消波ブロックの点群計測による 気水中の面的評価方法の検討

西 広人<sup>1</sup>・琴浦 毅<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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)

<sup>2</sup> 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

四面環海である日本では、反射波や越波の低減を目的として港湾整備に消波ブロックを採用する事例が多い。しかし、消波ブロックは直上での活動が危険であり、目視等の従来計測では現況形状の定量的な把握が困難であった。そこで、UAV 測量によって取得した3次元点群データを用いて、消波ブロック天端部分の評価を行うなど、非接触型の計測手法を用いた検討が進められている。しかし、法面部については気水中に連続する特徴もあり、適用事例は少ない。したがって本研究では、UAV 測量で取得した3次元点群データについて消波ブロックの水中部を含む法面部の評価手法の検討を行った。その結果、法面部・天端部ともに最高値を用いた面的評価が有用であることが示され、消波ブロックの現況把握および被災時の迅速な状況把握手法としての活用が期待される。

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

## 1. はじめに

国土交通省が主導するi-Constructionを皮切りに、建設業界では担い手不足を解消するべく、省力化や生産性向上を目的としたICT技術の導入が著しく進んでいる。自動車製造業等の他産業が先んじてICT技術を駆使した飛躍的な生産性向上を実現しており、建設業もそれに倣った流れである。しかし、自動車製造業等と建設業の大きな違いの一つに、建設業は大部分が現地合わせの一品生産体制であることが挙げられる。したがって、建設業では、広大な敷地を持つ現場の状況を迅速かつ詳細に把握するために、測量分野でのICT技術の活用が特に盛んである。中でも、昨今物流分野などでも活用が始まったUAV(unmanned aerial vehicle)は、空中を飛行して広範囲を迅速に計測できること、写真測量やレーザ測量などBIM/CIMの利用拡大に伴う3次元点群データの需要拡大も相まって、普及が拡大している。

ICT技術を用いた非接触型測量は特殊な施工環境を持つ港湾工事においても広く普及しており、ICT浚渫工やICT基礎工などの海底地形を計測する必要がある施工では、3次元点群データを用いた出来形管理<sup>1)</sup>が既に一般化しており、現地作業の効率化に大きく寄与している。消波ブロックについても、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であることから、非接触か

つ迅速に広範囲を計測できるICT機器の導入ニーズが高まっていた。そこで、ICT機器を用いた測量マニュアル(ブロック据付工編)が発刊され、3次元点群データの活用による管理が可能となり、現場での省力化・安全性向上に寄与している<sup>2)</sup>。筆者らもUAVを用いた消波ブロックへの3次元点群データの活用について検討を重ねており、様々なUAV計測手法の消波ブロックへ適用性の検討<sup>3)</sup>やUAV写真測量による天端部分の定量的な計測手法の提案等<sup>4)</sup>、検討を重ねている。

しかし、現状実務として行われている消波ブロックの評価方法は表-1に示すような施工出来形の管理時であれば延長計測、災害時の点検では目視確認など局所的な把握のみであり、消波ブロック全体を把握できていない。また、現地を計測して計測者が記録するローカルデータのため記入ミスやデータ紛失などの人為的過誤も想定される。そこで筆者らは、UAVにより取得した消波ブロック天端部分の3次元点群データを、消波ブロックの設置形状毎の点群特性を踏まえた上で評価する手法を提案し、3次元点群データによる面的評価が有用であることを示した<sup>5)</sup>。しかし、消波ブロックの法面部については、複雑なブロック形状と高さ方向の変化が複合した箇所である。加えて、気水中に連続する構造であり、同一区間を同時に計測して3次元点群データの取得することが困難であるため、消波ブロック全体の評価事例は極めて少ない。

表-1 現状の消波ブロック評価方法 (抜粋)

港湾工事 出来形 管理基準	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)	
港湾の 施設の 点検診断 ガイドライン	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-1 検討対象地点諸元

	A地点	B地点
消波工設計天端高 (m)	7.08	4.50
消波工設計天端幅 (m)	7.60	4.00
消波ブロック種別	テトラポッド	ディンプル
消波ブロックサイズ (t)	80	12
面的評価検討延長 (m)	120	新設・既設部ともに20m
格子サイズ (m)	3.80	2.00
点群計測手法	UAVグリーンレーザ測量	UAVグリーンレーザ測量 ナローマルチビーム測量



図-2 セッキ板を用いた透明度調査状況

そこで本研究では、水中部を含む法面部分の面的評価手法について、施工管理や被災状況の把握など消波ブロック全体の管理手法の一助とすることを目的として、UAVを主体とした複数手法により取得した消波ブロック点群データを用いて検討を行った。

## 2. 点群データ計測諸元および計測手法

本研究では消波ブロックの種別およびサイズが異なる2地点について3次元点群データの取得を行った。地点毎の諸元を表-2に示す。また、本研究では2種類の計測手法を用いて消波ブロックの点群データ取得を行ったため、各計測手法の詳細を下記に示す。

### (1) UAV グリーンレーザ測量

UAV を用いた測量手法は UAV 写真測量や UAV レーザ測量等が普及しており、特に大規模土工現場などでは

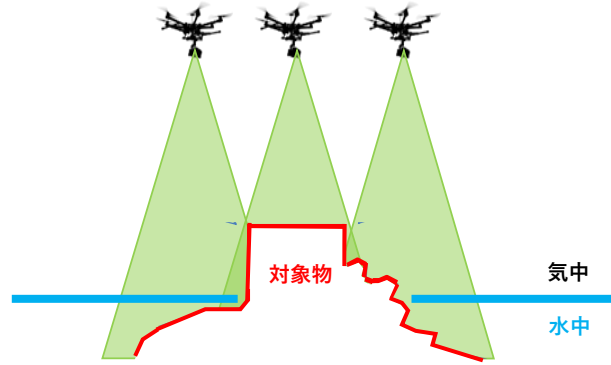


図-1 UAV グリーンレーザ測量計測模式図

広大な計測対象を瞬時に計測できることから、大幅な省力化効果を発揮している。中でも UAV レーザ測量は、UAV をプラットフォームとしてレーザスキャナや GNSS 受信機、IMU (慣性航法装置) を搭載し、上空から対象物へ向けて直接的にレーザ光を照射して反射パルスを捉えることで、対象物の3次元点群形状を取得する計測手法である。これまでは、近赤外レーザスキャナを用いた UAV レーザ測量が先行して普及している。しかし、近赤外線の波長は、海洋や河川などの水部ではレーザ光が減衰してしまい、取得できる3次元点群データは気中部分のみとなる。

そこで本研究では、近赤外レーザにと比較して水部での減衰が少ないグリーンレーザを照射する図-1のような UAV グリーンレーザ測量 (以下、UAVGL) を適用した。UAV グリーンレーザ測量は、河川形状や港湾構造物を対象とした計測検討が広く進められており、気中部と水部を同時に計測できるツールとして活用が進んでいる。UAV グリーンレーザ測量は水部に向けてレーザ光を照射するため、計測深度が濁度に大きく依存することが知られている<sup>9)</sup>。測深深度は一般に図-2 に示すセッキ板を用いた目視での透明度調査深度と同程度であると考えられているため、現地適用の際には、対象水域の濁度に留意する必要がある。

### (2) ナローマルチビーム測量

港湾整備では浚渫工事や防波堤築造工事などで水部の地形計測や出来形計測を行う必要があるが、レーザ測距技術を用いた測深方法は UAV グリーンレーザの登場以

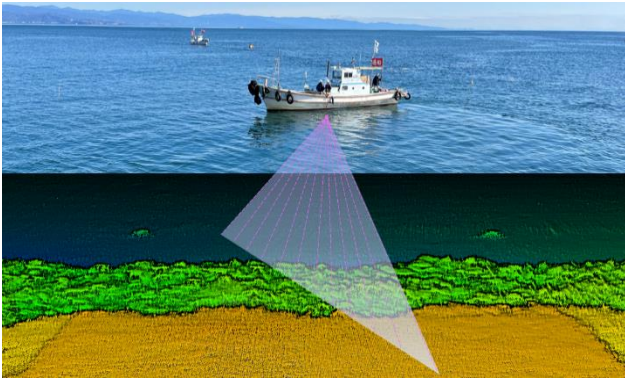


図-3 ナローマルチビーム測量模式図



図-4 A地点全景

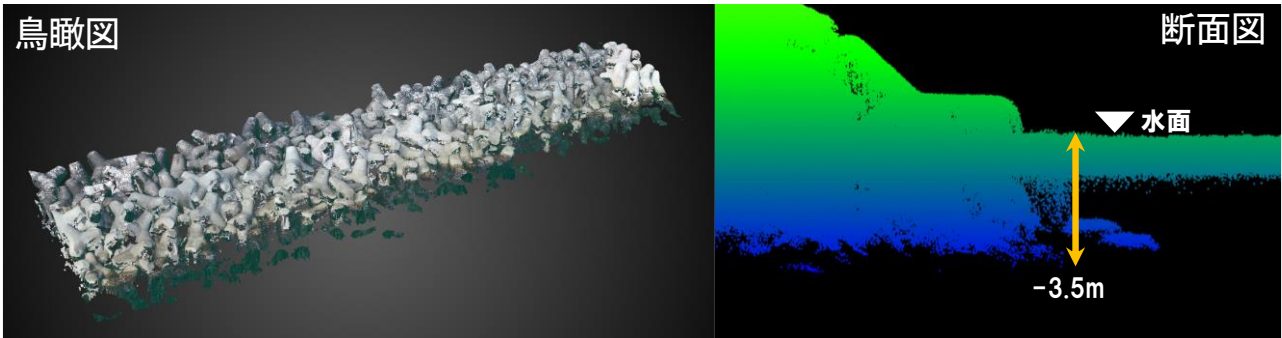


図-5 A地点点群データ鳥瞰図および断面図

前ではレーザー光の減衰を理由に適用されておらず、超音波を用いた音響測深技術が広く普及している。

中でも図-3 に示すナローマルチビーム測量（以下、NMB）は ICT 浚渫工や ICT 基礎工などに適用されており、普及が拡大している。NMB は超音波を対象物に照射するためのソナーや IMU（慣性航法装置）、GNSS 受信機を船舶に取り付けて船舶の航行に伴い海底地形データを取得する。NMB の利点として、単一測線で対象地形を広範囲に計測できることから、従来使用されていたシングルビームソナーより迅速に高密度の点群を取得することができるため、計測データを用いた検査の検討が進んでいる。

### 3. 各地点の計測結果・検討

#### (1) A 地点

図-4 に示す A 地点では、沖防波堤の 120m 区間を対象に UAVGL を行い、点群データを取得している。以下に点群取得結果と面的評価手法検討結果の詳細を示す。

##### a) 点群取得結果

今回の計測では、図-5 に示す鳥瞰図と断面図のような点群データを取得した。鳥瞰図より、消波ブロックの凹凸形状や空隙部分など複雑な形状が取得できていることが確認できる。また、取得点群の法尻付近は点の色が変化しているが、これは水中にある消波ブロックの形状を

取得したものであり、断面図を見ると -3.5m まで水中のブロック形状を取得できていることから、対象となった A 地点でセッキ板を用いた透明度調査を行った結果の -3m と同程度で計測することができた。

##### b) 面的評価手法の選定

点群データで面的評価手法を適用する場合、ICT 浚渫工や ICT 基礎工では、点群データを平面的に一定の格子で分割し、格子内の代表値を用いて評価する方法が採用されており、消波ブロックを対象とする本研究でも同手法を用いることとした。ここで、平面格子に分割する場合に決定する必要があるパラメータは①平面格子サイズと②格子内の代表値であり、以下で検討した。

①平面格子サイズについては、ICT 浚渫工や ICT 基礎工と同じ 1.0m などの固定サイズを適用すると、ブロックの寸法によって過小評価や過大評価の恐れがある。また、消波ブロックの平面投影した寸法をそのまま採用すると、天端幅を上回るため、性状の異なる天端部と法面部を分割して評価することができない。したがって、消波ブロックのサイズおよび設計天端幅を考慮して決定する必要がある。今回の消波ブロックは 80t 級であり、消波ブロック寸法は  $L=5.50\text{m}$  である。また、A 地点の消波ブロック設計天端幅は消波ブロック天端 2 個並びであることから、 $B=7.60\text{m}$  である。本研究ではこのうち、設計天端幅である  $B=7.60\text{m}$  の半分である  $B/2=3.80\text{m}$  を格子サイズとした。また、 $B/2$  を格子サイズとした場合、消波ブロックの設置向きによっては図-6 に示すような空隙部分に該当する格子も存在する。これは格子サイズ  $B/2$  は消波ブロッ



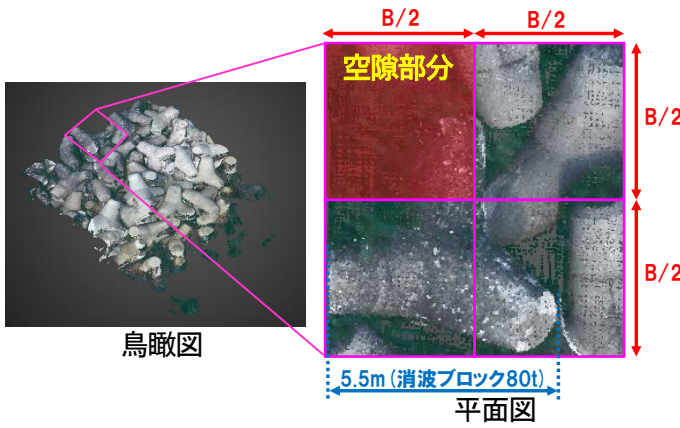


図-6 天端部格子拡大図

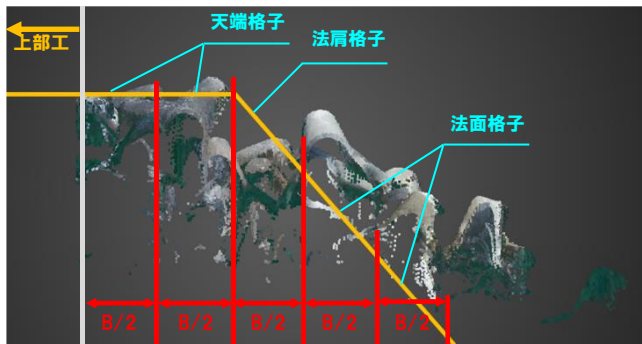


図-9 A地点A-A断面図

ク寸法Lの80%であるためであり、20%程度は空隙部になることが考えられる。

②格子内の代表値については、ICT 浚渫工やICT 基礎工など点群データを活用した面的評価手法でそれぞれ対象物の点群特性や管理方法を踏まえた上で決定されている。筆者らは既往研究で消波ブロックの点群特性から採用値を決定する検討を行っており、格子内の最高値で評価することが健全であると結論づけている。この結果を踏まえて本研究では、B/2の格子サイズで分割した格子内の点群の内、最高値を用いて評価することとした。

c) 面的評価結果

従来検査で健全であると認められた範囲について、図-8に示す面的評価判定を行った。なお、設計値の採用方法については図-7に示すように、天端格子は天端高さ、法面格子については法面格子分割点の高い方とした。評価結果は、天端部分は80%以上の格子で設計天端高さを満足している。空隙部が20%程度含まれることを考慮すると、80%以上の格子で設計天端高さを満足していれば健全と考えられる。法面部分では、設計値以下の判定が法肩格子に集中している。これは図-9に示すA-A断面図のように、法肩に配置された消波ブロックが天端格子で評価をしているため、設計断面を満たされているものの、法肩格子では過小評価となってしまう、最高値を採用しても設計値からは大きく乖離した値となっている。したがって、過小評価の恐れがある法肩格子は評価対象

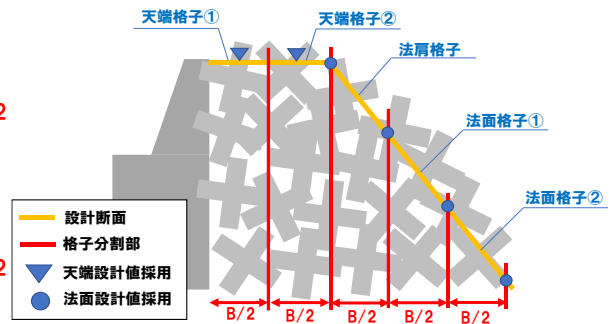


図-7 設計値採用概念図

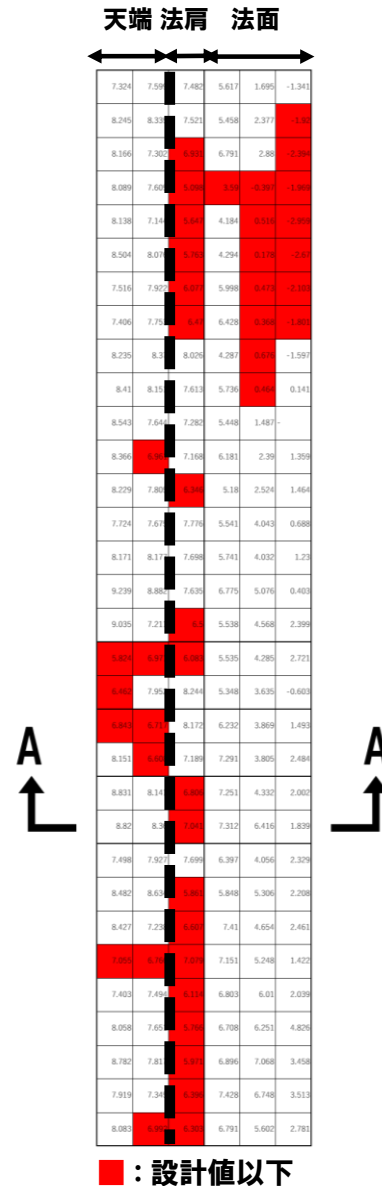


図-8 A地点面的評価判定図

に含めず、法面部分は2列目以降の格子による評価が適正であると考えられる。

(2) B地点

続いてB地点では、UAVGLとNMBを併用して計測した点群データについて検討を行った。B地点では対象

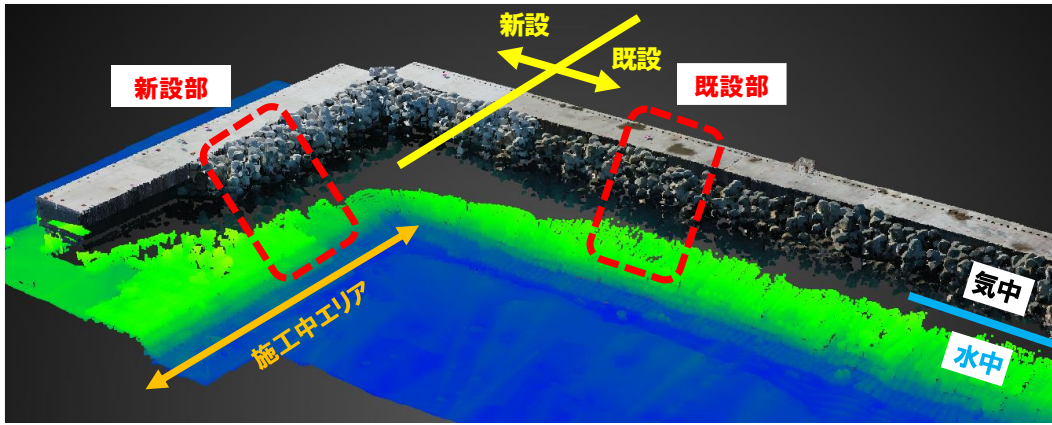


図-10 B地点点群データ鳥瞰図

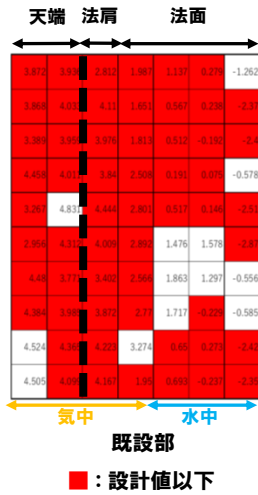
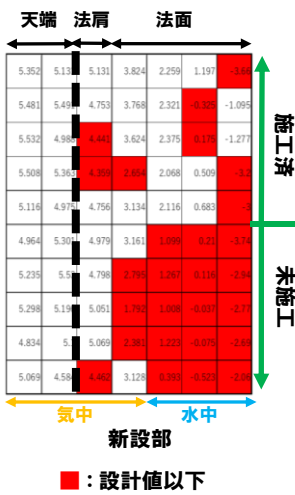


図-11 B地点面的評価判定図

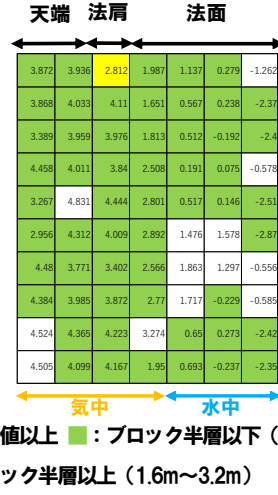


図-12 B地点設計値差分ヒートマップ

となる水域でのセッキ板を用いた透明度調査が 1m 程度であったため、UAVGL のみでは消波ブロック法面部の形状を十分に取得できない可能性があり、NMB を実施して取得した点群データと UAVGL で取得した点群データを結合させて消波ブロック全体の形状を作成した。以下に点群取得結果と面的評価手法検討結果の詳細を示す。

a) 点群取得結果

計測により取得した点群データ鳥瞰図を図-10に示す。鳥瞰図より、UAVGL により気中部分の防波堤上部工を含めた消波ブロック全体が取得できていることがわかる。また、上部工と消波ブロックの色の違いから既設部分と新設部分をそれぞれ取得できていることが確認できる。また、標高段彩の部分は NMB で取得した結果であるが、船舶の航行が困難である隅角部を除いて、気中付近から連続して水部形状を取得できている。

b) 面的評価手法の選定

B 地点では A 地点と同様に格子サイズを設計天端幅の半分 B/2、設計値の採用は消波ブロックの設計天端高さおよび法面格子分割点の高い方とした。また、格子内の代表値についても同様に最高値を採用して評価した。

B 地点では、新設部分と既設部分の点群データがそれぞれ取得できているため、各部の健全性評価に加え、同

一的设计値に対してそれぞれを評価し、施工直後の新設部分と経年変化した既設部分の比較を行った。

c) 面的評価結果

図-11 に示す面的評価判定図より、新設部天端では 80%以上が設計値を満たしているため健全であることが確認できるが、既設部には大部分で設計値を下回っており、経年変化による消波ブロックの沈下や移動が面的評価によって全体的に確認できることが明らかになった。法面部分に関しては、新設部は施工済区間と未施工区間に分割でき、面的判定図から施工済と未施工が判別できるため、現地状況と諸条件を選定して面的評価を行った結果が合致することが示された。既設部分では、天端部分と同様に経年変化による沈下や移動の影響があることを全体的に確認することができた。また、NMB で計測した部分に着目すると、新設部、既設部ともに隣接する UAVGL 計測結果と乖離なく評価できていることが伺える。このことから、NMB を用いた消波ブロック計測についても本研究における面的評価手法は有用であることが確認された。

なお、B 地点既設部については、設計値との判定に加えて、図-12に示す設計値差分ヒートマップを作成した。B 地点の消波ブロック寸法は L=3.2m であるため、従来

使用される表-1 の点検診断ガイドラインの劣化度判定基準に基づき、設計値以上、ブロック半層未満(0m~-1.6m)の沈下量、ブロック半層以上(-1.6m~-3.2m)の沈下量でそれぞれ色分けした。その結果、図-11 で設計値以下の判定だったもののうちのほとんどでブロック半層未満の沈下量となり、経年劣化による多少の沈下はあるものの、性能を著しく低下させるような沈下は見られないことが確認できた。このように、格子内の閾値を変化させることで消波ブロックの必要な現況情報を抽出できる点でも、出来形管理や維持管理など幅広い分野での点群データによる面的評価の有効性が示された。

#### 4. まとめ

本研究では、サイズの異なる消波ブロックを使用した2地点について、UAVGLとNMBを適用して消波ブロックの3次元点群データを取得し、取得した3次元点群データを設定した諸条件を用いての面的評価検討を実施した。その結果、UAVGLを用いた計測とUAVGLとNMBを併用した計測の両方について、消波ブロックの設計天端幅の半分であるB/2の格子サイズおよび格子内の代表値に最高値を用いることで、消波ブロック全体を面的に評価することができることが示された。広範囲を迅速に計測することができるUAV測量やNMBと点群データによる面的評価を組み合わせることで、施工後の出来形管理や既設部の維持管理、被災時の災害箇所の把握など消波ブロック管理全般への適用が期待される結果となった。

今後は、面的評価適用事例を増やすとともに、3次元点群データを用いた出来形管理手法の確立や点検診断ガイドラインの策定など、現地適用へ向けた継続的な取り

組みが求められる。

#### REFERENCES

- 1) 塚本高文, 琴浦毅: 水中点群データを活用した出来形検査に向けた検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol.78, No2, I\_145-I\_150, 2022. [Tsukamoto, T. and Kotoura, T.: Utilizing underwater point cloud data examination for working form inspection, *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers B3 (Ocean development)*, Vol.78, No2, I\_145-I\_150, 2022.]
- 2) 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. [Ministry of Land, Infrastructure and Transport Ports and Harbors Bureau: *Survey manual using ICT equipment (Block-suetsukekou-hen)* (April 2021 March Ver.), 2021.]
- 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, No2, I\_690-I\_695, 2020. [Nishi, H. Kotoura, T. Sakai, K. and Konno, H.: Investigation on the surveying method of wave dissipating blocks using UAV, *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers B3 (Ocean development)*, Vol.76, No2, I\_690-I\_695, 2020.]
- 4) 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, No2, I\_691-I\_696, 2021. [Nishi, H. Kotoura, T. Sakai, K. and Ishitsuka, Y.: UAV photogrammetry for wave dissipating blocks applicability study, *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers B3 (Ocean development)*, Vol.77, No2, I\_691-I\_696, 2021.]
- 5) 西広人, 琴浦毅: 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, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol.78, No2, I\_163-I\_168, 2022. [Nishi, H. and Kotoura, T.: Targeting wave dissipating blocks examination of point cloud data evaluation method, *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers B3 (Ocean development)*, Vol.78, No2, I\_163-I\_168, 2022.]

(Received February 9, 2023)

(Accepted May 11, 2023)

## A STUDY OF PLANAR EVALUATION METHODS FOR WAVE DISSIPATING BLOCKS IN AIR AND IN WATER USING POINT CLOUD MEASUREMENTS

Hirohito NISHI and Tsuyoshi KOTOURA

In Japan, which has a four-surface ocean ring, many ports and harbors are constructed with wave dissipating blocks to reduce wave reflection and wave overtopping. However, it is difficult to quantitatively determine the current shape of wave dissipating blocks by conventional measurement methods such as visual inspection because of the danger of activities directly above the blocks. Therefore, studies have been conducted using non-contact measurement methods, such as using point cloud data acquired by UAV surveying to evaluate the tops of wave dissipating blocks. However, there are only a few cases of application to slopes due to their characteristics of being continuous in air and water. Therefore, in this study, an evaluation method for slopes, including underwater areas of wave dissipating blocks, was investigated using point cloud data acquired by UAV surveying. As a result, it was shown that an planar evaluation using the highest value is useful for both the slope and the top edge, and it is expected to be utilized as a method to grasp the current status of wave dissipating blocks and to quickly grasp the situation at the time of damage.