

消波ブロックを対象としたUAV測量

西 広人¹

¹五洋建設株式会社 技術研究所 土木技術開発部 研究員

消波ブロックの性能評価に必要な断面形状および高さ等の形状把握のための計測は、転落の危険があることから延長計測や目視計測が主流であった。そこで、安全に消波ブロックの3次元形状を把握するためにUAV測量の適用を検討した。本論文では、その検討内容と計測手法、取得点群評価方法について解説する。

キーワード：UAV、ICT、消波ブロック、点群データ

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、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¹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ている。本論文では、現地の消波ブロックにUAV測量を適用し、詳細形状を把握するための計測手法の検討内容や取得点群評価手法を紹介する。

2. 消波ブロックの詳細形状取得

消波ブロックはその機能特性から、施工延長が長大、個々の形状が複雑、空隙を持つ構造体といった特徴がある。しかし、性能評価のための天端幅や高さの計測は前述した特徴のために実施が困難である。従来では図-1に示すように、出来形計測は施工延長のみ²、被災時の点検は目視確認に留まっている³。したがって、ICT技術を用いた非接触型の計測が有効であると考えられる。

一方、近年では大規模土工現場等でUAV測量が広く適用され、広域計測の省力化および省人省人化に寄与している。UAV測量は写真測量やレーザ測量に大別されるが、いずれの測量方法も空中を飛行して計測する。著者らは構造物と接触せずに計測を行うというUAV測量の特徴から、消波ブロック計測への適用を試みた。

3. UAV計測概要

UAV測量は前述のように2種類の測量方法（図-2）に大別される。

(1) UAV写真測量

UAV写真測量は、UAVにカメラを搭載し、連続的に重複した画像を撮影する。撮影した画像と地上基準点や機体情報を元にSfM（Structure from Motion）処理を行うことで点群データを生成する。機材が比較的安価かつ簡単に入手でき、最も普及するUAV測量方法である。陸上工事現場等では、国土地理院が発刊する作業規程の準則



図-1 消波ブロックの出来形計測状況

に従い、対象物を囲むように標定点と呼ばれる位置座標が既知である点を設置することで、SfM処理で発生する歪み等の誤差を補正することで高い精度での計測を実現している。

(2) UAVレーザ測量

UAVレーザ測量は、レーザスキャナをUAVに搭載し、対象物に対してレーザを照射することで、反射パルスの往復時間から距離を計測して空間情報を計測する。レーザにより対象物を直接3次元点群として捉えることができるため、UAV写真測量に比べると高コストであるが、実績の多い測量方法である。また、レーザの波長を変更することで気水中を連続的に計測するグリーンレーザ測量等も近年普及しつつあり、気水中の連続データ取得等への適用が期待されている。

4. 検討内容

本論文では、前述した測量方法の内、最も普及する写真測量について、消波ブロックを対象とした計測手法を立案し、現地計測に適用した⁴⁾。計測対象とした防波堤を図-3、設置した対空標識（標定点、検証点）を図-4、計測諸元を表-1に示す。計測結果を踏まえ、計測精度の検証および定量的な計測パラメータの把握を試みた。

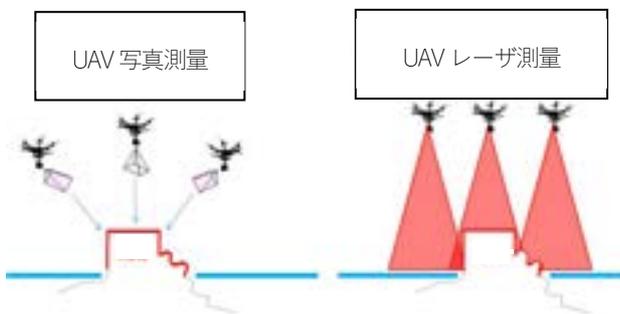


図-2 UAV測量模式図



図-3 計測対象の防波堤鳥瞰図

(1) 港湾構造物特有の環境影響評価

SfM処理は、撮影した画像から特徴点を抽出することで撮影位置を推定し、同一地点に対する複数画像の視差から点群データを生成している。したがって、撮影される写真の中に特徴点が必要であるが、消波ブロックは周囲を海に囲まれており、海面は常に変化するため特徴点として抽出することができない。また、消波ブロックは安全管理上、直上での作業が困難であるため、四隅に標定点を設置することができない。したがって、消波ブロックに隣接する上部工上に、標定点を図-5に示すように複数パターン設置し、精度を確認する検証点を設けて撮影パターン毎の精度比較を行った。

その結果、A～Dの配置パターンについては、検証点での最大較差が水平方向で4.6cm、鉛直方向で3.7cmとなり、消波ブロックを管理するための実用的な精度が確保できた。一方、E、Fの配置パターンについては、最大較差が100cm以上となり、実用的な精度の確保はできなかった。A～Dパターンは対象範囲の四隅に標定点を設置しており、長手、短手方向ともに最低でも2列以上の配置となる。一方、E、Fパターンは長手方向もしくは短手方向が1列配置になる場合があり、点群データの補正をする際に、面的な補正ができなかったことが要因として考えられる。また、図-6より、垂直撮影のみでは標定点の減少に伴い較差が増大しているが、斜め撮影を加えることで較差の減少が抑制されている。これは、垂直撮影に比べて防波堤垂直部などを撮影できたことで、より多くの特徴点を抽出したため点群生成時の精度が向上したものと推察される。

以上より、港湾構造物特有の環境下においても、



図-4 対空標識

表-1 計測諸元

測量手法	写真測量
使用機体	DJI-Phantom4Pro
飛行高度	垂直:30m 斜め30度:45度:25m
飛行速度	2.9m/s
G S D	垂直,斜め30度:0.8cm 斜め45度:1.0cm
コース間重複度	オーバーラップ:80% サイドラップ:60%
計画点密度	-

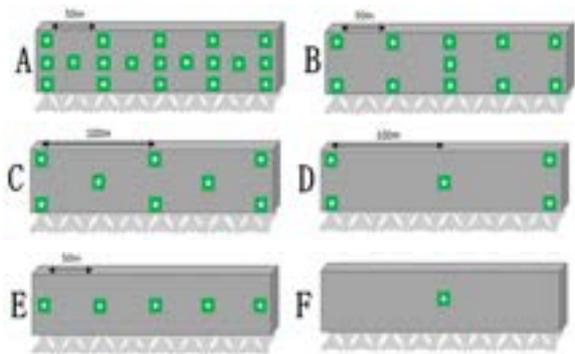


図-5 標定点配置パターン

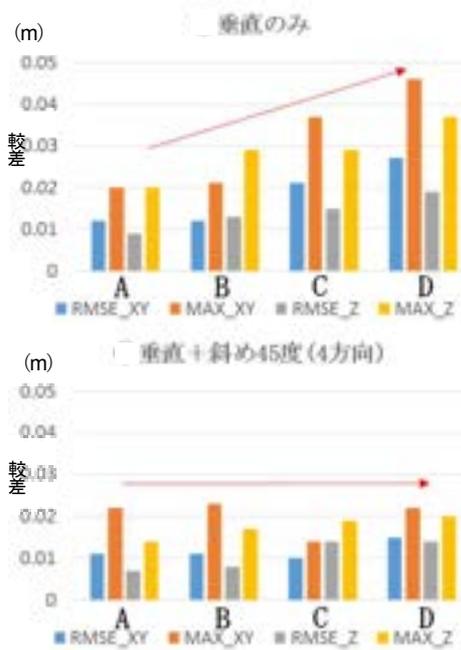


図-6 標定点減少による較差推移

UAV写真測量が適用できることが示された。

(2) 標定点外での計測精度評価

消波ブロックは安全管理上、直上での作業が困難であるため、四隅に標定点を設置することができない。したがって筆者らは、前章のような隣接する上部工上への標定点の設置により標定点範囲外にある消波ブロックにおいて実用的な計測精度の確保が可能かを検討した。はじめに、上部工場で標定点範囲外の精度を検証するために図-7に示すように標定点を上部工上に設置し、標定点で囲まれた範囲外に検証点を複数設置して計測を行った。その結果、図-8に示すようにGパターンでは、標定点範囲からの距離が長くなるにつれて較差の増大が確認されたため、標定点外での較差の増大要因の一つは、標定点範囲からの距離であることが明らかとなった。

HパターンでもGパターンと同様に標定点範囲からの距離が較差と比例しており、標定点範囲を中心に左右に較差が分布していることが確認できたため、較差の分布

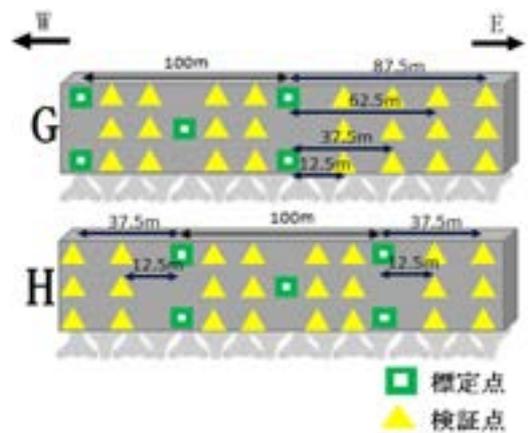


図-7 標定点範囲外への検証点

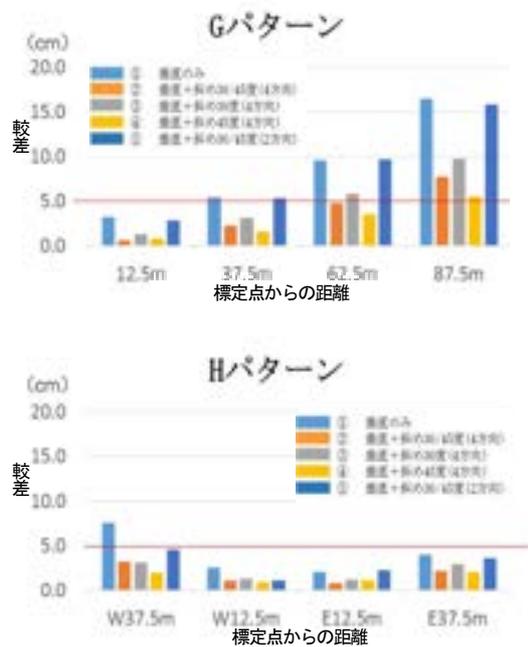


図-8 標定点外検証点の較差分布

は標定点範囲を中心に同心円状であると推察される。

加えて、G、Hパターンともに、前検討と同様、斜め撮影の有効性が示され、45度のみの場合が最も較差が少ない結果となった。これは、30度では傾ける角度が大きく、同一地点への撮影画面像で対象物にパラペットが干渉したことに起因すると考えられる。

以上より、標定点範囲からの距離に依存するが、撮影条件に留意すれば、要求精度±5.0cmを満たす計測が可能であることが明らかとなった。

(3) 消波ブロック部の計測精度評価

前述したUAV写真測量手法で取得した点群データと、同一地点で実施したUAVレーザ測量により取得した点群データを重ね合わせたものを示す図-9より、消波ブロック天端付近から法尻付近まで、両測量方法で同様の形状

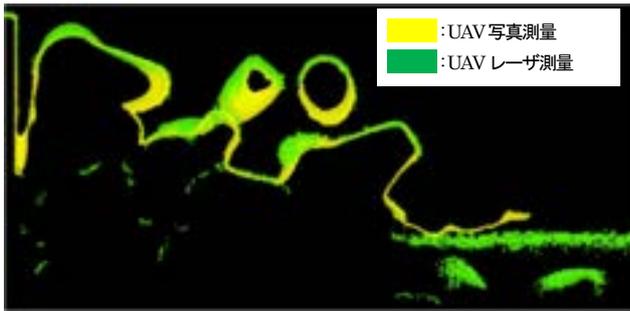


図-9 消波ブロック断面での点群比較
点群高さ分布

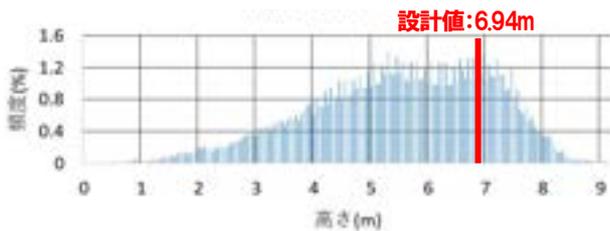


図-10 点群データ全体での高さ分布

を取得していることがわかる。標定点範囲から30m程度離隔のある法尻付近では、レーザ測量では影になり形状を再現できない部分についても、写真測量では斜め撮影を併用しているため、形状が取得できているなど標定点範囲外の計測精度が確保されていることが確認できる。また、今回はグリーンレーザを使用したため、レーザ測量については水中の消波ブロックの形状を取得しているが、写真は水面上に点群ができています。これは水中の消波ブロックが撮影されているものの、屈折の影響で高さ方向に誤差が出ていることが考えられ、水部付近での取り扱いには留意する必要があります。以上より、計測手法に留意したUAV写真測量では、高コストなUAVレーザ測量と同様の精度を有することが明らかとなった。

6. 取得点群の面的評価検討

続いて、取得した点群データを適正に評価する評価手法の検討を行った。取得した点群の高さ方向の1cm毎の分布を図-10に示す。なお、対象範囲は法面を除く天端面のみとした。図-10より、設計値より1~2m下がりの頻度が高く、設計値を上回る部分も取得されている。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に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。

上記を踏まえ、取得データを平面格子で分割し、格子

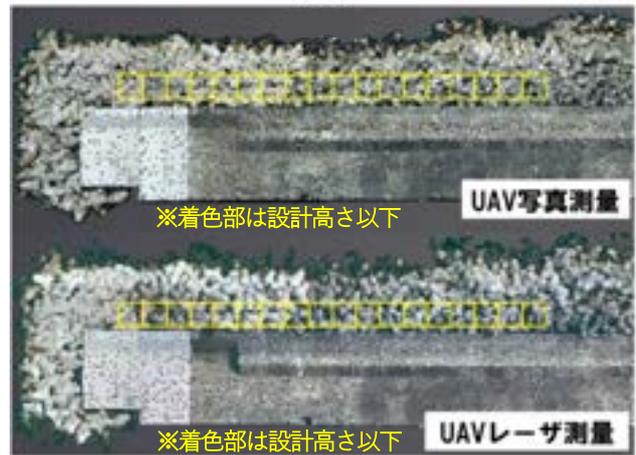


図-11 各計測手法の面的評価結果

内をそれぞれ評価する面的評価が妥当であると考えた。なお、今回の検討で平面分割する格子サイズは、対象となる消波ブロックの投影距離である5.5mを用いた。その結果、図-11に示すように、従来では把握することが困難であった消波ブロックの天端部分について、対象とした範囲すべてで設計高さを満たしていることが確認できた。また、UAV写真測量、UAVレーザ測量の両方で同様の評価結果が得られ、面的評価はUAV測量で取得する点群全般に適用できることも示された。今後は、評価範囲全体に対して、どの程度の格子が設計値を上回れば要求性能を満たすかを設定することで、消波ブロックの補修時期等がより詳細にわかり、性能を保つ指標になることが期待される。

9. おわりに

消波ブロックを対象にUAV写真測量を高精度に実施する手法を開発した。今後は、地球温暖化に起因する海象条件の激甚化により、消波ブロックの被災の増加が懸念され、被災箇所や被災状態の把握がより一層重要となる。本研究を用いることで出来形・維持管理のさらなる高度化や、被災状況の見える化が期待できるため、継続的な取り組みが求められる。

参考文献

- 1) 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.1_690-1_695, 2020.
- 2) 国土交通省港湾局: 港湾工事共通仕様書 (令和3年3月), 2021.
- 3) 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.
- 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, No.2, 1_691-1_696, 2021.