

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1179

December 2021

港湾分野における消波ブロックを対象とした UAV写真測量の効率的な標定点の配置方法に関する検討

小川雅史・辰巳大介・櫻井義夫

A Study on an Efficient Placement Method for Ground Control Points
for UAV Photogrammetry Aimed at Wave-dissipating Concrete Blocks
in Port Areas

OGAWA Masashi, TATSUMI Daisuke, SAKURAI Yoshio

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

港湾分野における消波ブロックを対象とした UAV写真測量の効率的な標定点の配置方法に関する検討

小川 雅史*・辰巳 大介**・櫻井 義夫***

要 旨

国土交通省港湾局では、港湾工事において、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場の創出を目指すi-Constructionを推進するための取組みを進めてきた。2020年には「ICT機器を用いた測量マニュアル(ブロック据付工編)(令和2年3月版)」を策定・公表したが、残された課題も多い。

特に、消波ブロック(陸上部)を対象としたUAV写真測量について、同マニュアル内で準用できるとされた他の技術基準類では「計測対象範囲を囲むように外側標定点を配置する」ことを標準としているが、防波堤のような海に囲まれた港湾構造物の前面に設置された消波ブロックを計測対象とした場合、計測対象を囲むために標定点を海上等に設置することとなり、過大なコストと手間を要するだけでなく作業上の安全性も含めて課題がある。

このため、標定点を足場の良い防波堤上部工上へのみ設置することを前提に、現地試験を通じ、標定点の配置方法(設置数と設置間隔)と外側標定点の外側に存在する計測対象までの距離等が計測精度に与える影響について比較検証を行い、外側標定点の外側50mまで±5cmの計測精度が確保される標定点の配置方法等を明らかにした。本研究で得られた知見の一部は、「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)に反映された。

キーワード： UAV写真測量，標定点，港湾，消波ブロック

*港湾研究部主任研究官
**港湾研究部港湾施工システム・保全研究室長
***港湾局技術企画課港湾保全政策室長(前港湾研究部港湾施工システム・保全研究室長)

A Study on an Efficient Placement Method for Ground Control Points for UAV Photogrammetry Aimed at Wave-dissipating Concrete Blocks in Port Areas

OGAWA Masashi *
TATSUMI Daisuke **
SAKURAI Yoshio ***

Synopsis

The manual for UAV photogrammetry contains a provision that ground control points are to be placed around the measurement object, but this would be expensive and dangerous when measuring wave-dissipating concrete blocks in port areas. Therefore, the aim of this paper is to provide an efficient placement method for ground control points for UAV photogrammetry for wave-dissipating concrete blocks based on the results of a field test conducted by the authors. In our field test, the ground control points were placed only on the superstructure of a breakwater, which is more cost-effective and safer than the conventional method of placing ground control points around wave-dissipating concrete blocks. The number and positions of the ground control points were also varied in the field test. The test results verified that measurement accuracy of ± 5 cm is ensured up to 50 m outside of the outer ground control points under some conditions, even if the ground control points are placed only on the breakwater superstructure. Based on the results presented in this paper, the manual for UAV photogrammetry for wave-dissipating concrete blocks in port areas was revised in April 2021.

Key Words : UAV photogrammetry, Ground Control Point, Port, Wave-dissipating Concrete Block

*Senior Researcher, Port and Harbor Department, NILIM
**Head of Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM
***Director of Port Management Office, Engineering Planning Division, Ports and Harbours Bureau, MLIT
National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail : ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

目 次

| | |
|--|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. ヒアリングによる課題の抽出と現地試験の検証内容 | 2 |
| 2.1 ヒアリングの概要 | 2 |
| 2.2 主な課題の抽出と現地試験の検証内容 | 3 |
| 3. 消波ブロックを対象とした現地試験 | 4 |
| 3.1 UAV 写真測量の概要 | 4 |
| 3.2 対象施設と計測諸元等 | 4 |
| 3.3 標定点の配置方法の検討 | 5 |
| 3.4 検証点の配置方法の検討 | 6 |
| 4. 計測結果 | 7 |
| 4.1 従来型 UAV による計測結果 | 7 |
| 4.2 高精度測位型 UAV による計測結果 | 9 |
| 5. まとめ | 12 |
| 6. あとがき | 12 |
| 謝辞 | 13 |
| 参考文献 | 13 |
| 付録 検証結果の「ICT 機器を用いた測量マニュアル（ブロック据付工編）」への反映箇所... | 15 |

1. はじめに

国土交通省が推進するi-ConstructionにおけるUAV (Unmanned Aerial Vehicle) 写真測量の重要性は高い。UAV写真測量は、既往の航空機による写真測量やUAVレーザー測量に比して、比較的安価かつ簡易に高密度の画像・三次元座標データ等の取得が可能であるため、広域を計測対象とするICT土工分野が先行する形で、建設生産プロセスの各段階に渡り検討・活用が進んできた。近年になり、港湾分野における検討も増加しつつある^{1)~6)}。

他方、国土交通省港湾局では、港湾工事において、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場の創出を目指すi-Constructionを推進するための取組みを進めてきた。港湾におけるICT活用工事は、2017年よりICT浚渫工が先行する形で開始され、2020年よりICTブロック据付工、ICT基礎工等、順次対象工種を拡大するとともに要領等の策定対象範囲も拡大されている⁷⁾。

ICTブロック据付工については、被覆ブロック、根固ブロック、消波ブロック（水中部、陸上部）を対象として、2018年度よりモデル工事を実施し、その実績データに基づき、ICT（マルチビーム、UAV等）活用に向けた各種要領（測量、数量算出、出来形管理、監督・検査）を検討してきた。しかし、ブロック据付の数量算出、出来形管理に係る要領に関しては、「現状のブロック据付工の出来形管理項目は「据付延長のみ」であり、ICTを使用した精緻な管理を行う必要はない」こと、「ブロック据付の出来形計測は、工事全体の工程の最後となることが多く、ICTによる点群データを用いた管理を行うと、データの取得と処理等に時間がかかり、工期に影響が生じる」との理由から、その作成が中断されていた⁸⁾。

一方、戦後高度成長期の量的整備を経て、我が国のブ

ロック据付工のストックは膨大であり、老朽化も進展しつつある。消波ブロックの移動・散逸等によるケーソン本体側壁への損傷等も指摘⁹⁾されており、供用時に期待された性能を発揮し得る状態が維持されているかを把握するための効率的な計測手法へのニーズは大きいと考えられる。

このような中、ブロック据付工の出来形確認に使用することを目的とするものではなく、その後の維持管理において完成形状を把握するためのデータを取得することを目的に、令和2年4月版の「ICT機器を用いた測量マニュアル（ブロック据付工編）」（以下、同マニュアル）¹⁰⁾が策定された。しかし、UAV写真測量の活用を念頭にした消波ブロック（陸上部）のブロック据付形状の計測方法については、幾つかの留意事項が記載される以外、国土交通省による『「ICTの全面的活用」を実施する上での技術基準類』（以下、他の技術基準類）を準用できる、とのみ記載された。ところが、同マニュアルにおいて準用できるとされた他の技術基準類は、陸上工事を前提としているため、港湾分野にそのまま準用すると実態にそぐわない場合がある。公共測量の標準的な作業方法等を示した「作業規程の準則（令和2年3月）」（以下、準則）¹¹⁾では、UAV写真測量において『計測対象範囲を囲むように外側標定点を配置する』ことを標準としているが、海に囲まれた防波堤のような港湾構造物の前面に設置された消波ブロックを計測対象とした場合、そもそも計測対象を標定点で囲むことは難しい。仮に外側標定点で取囲もうとするならば、海上に台船を複数設置した上に外側標定点を設置する必要が生じ、明らかに過大なコストと時間を要し非効率となる。また、測量技術者が消波ブロック群の四隅等に登り標定点を人手で設置する方法も

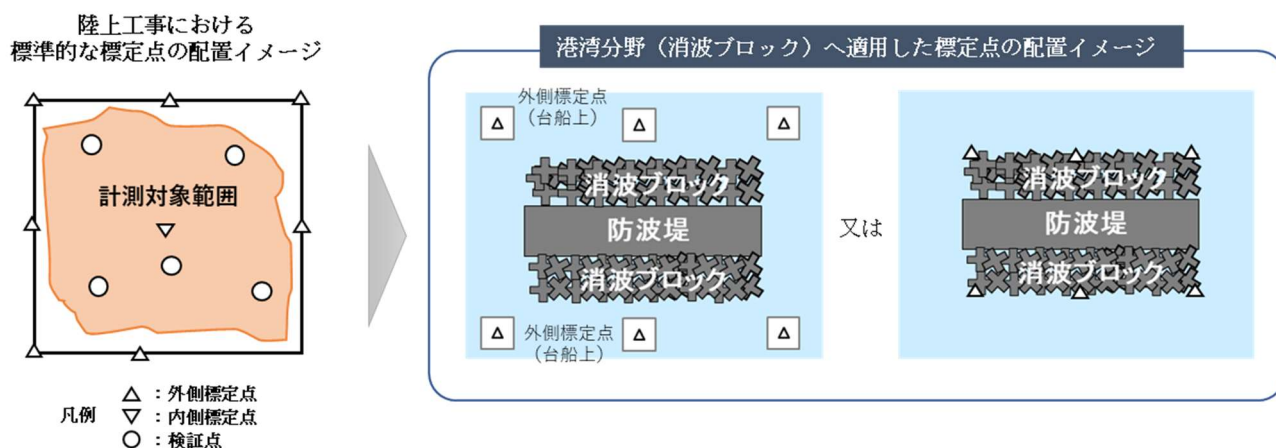


図-1.1 他の技術基準類の港湾分野への準用の難しさ

考えられるが、足場が悪く大きな手間と危険を伴う（図-1.1）。

したがって、消波ブロックを対象とした UAV 写真測量においては、海上や消波ブロック上以外に標定点を設置し、所要の計測精度を確保しつつ、港湾に特化した効率的な計測方法の検討が必要となる。海上や消波ブロック上以外であれば、標定点は自ずと防波堤上部工上へのみ設置されることになるが、計測対象である消波ブロックは外側標定点の囲いの外側に配置されることになる。このように消波ブロックが標定点の外側になることや、そのことによる計測精度への懸念は、港湾独自の課題として既に指摘されていた¹²⁾ものでもある。近年になり、類似の課題認識を背景とした実証研究^{5) 6)}も見られたが、研究成果の社会実装に向けて、同マニュアルへの具体的な標定点の配置方法（設置数と設置間隔）に関する記載を目的に、標定点の配置方法の違いや外側標定点から外側の計測対象までの距離が計測精度に与える影響に関する明示的な比較評価には至っていなかった。

以上より、本研究では、同マニュアル改訂版への反映に向け実証実験による検証を行った。検証結果は、同マニュアル(令和3年4月版)に反映されており、本稿は、改訂の裏付けとなった実証実験の方法と検証結果の一部を

述べるものである。

本稿の構成は次の通りである。まず、2章では、測量会社へのヒアリングを通じて、同マニュアルの改訂に向けて主な課題の抽出を行うとともに、併せて課題を解決するための知見を得るために必要な現地試験の検証内容の検討を行い、3章では、課題に対応するための基準化に向けた具体的な現地試験方法の検討を行った。4章では、現地試験の計測結果の整理・分析を通じて、令和3年4月の同マニュアルの改訂案を提示している。最後に、5章ではまとめを示した（図-1.2）。

2. ヒアリングによる課題の抽出と現地試験の検証内容

2.1 ヒアリングの概要

はじめに、測量会社へのヒアリングを通じて、消波ブロックを対象とした UAV 写真測量における課題等の確認を行った。ICT ブロック据付工の試行工事の開始と同マニュアルの公表は、2020年度からであり、測量会社においても、消波ブロックを対象とした UAV 写真測量の業務実績は非常に少ないことが懸念された。ヒアリング対象事業数を確保するため、海洋調査業務を営む企業等を会員とする一般社団法人海洋調査協会を通じ、同協会会員企業において特に港湾分野の ICT を活用した測量業務に精通した企業の中から 6 社を選定した。その上で、同 6 社による消波ブロックを対象とした UAV 写真測量の実

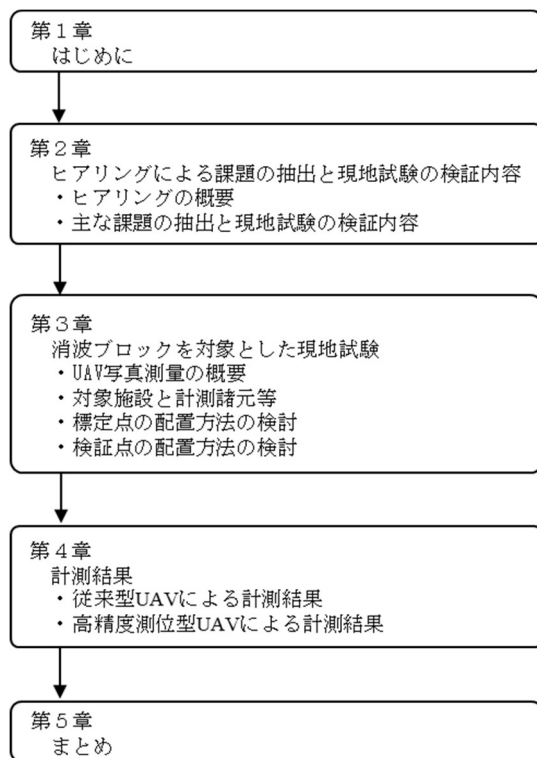


図-1.2 本検討の構成

表-2.1 ヒアリング内容

| 項目 | ヒアリング内容 |
|-----------|---|
| 業務実績の基本情報 | <ul style="list-style-type: none"> ・業務名 ・発注機関 ・業務種類 (出来形管理、維持管理、被災調査、その他) ・履行期間(現地測量期間) |
| 使用した機器の情報 | <ul style="list-style-type: none"> ・UAVの型番 ・カメラの型番、性能(諸元) |
| 準拠した基準類 | <ul style="list-style-type: none"> ・準拠した基準、マニュアル等 |
| 計測手法 | <ul style="list-style-type: none"> ・カメラの向き(垂直撮影/斜め撮影) ・撮影高度/解像度 ・重複率 ・標定点の配置 ・撮影範囲 |
| 課題等(自由意見) | <ul style="list-style-type: none"> ・上記計測手法において配慮した事項又は課題 ・基準類で明確化されていない事項又は明確化してほしい事項 ・その他の課題 |

表-2.2 対象会社および実施日等

| 会社名 | 実施年月日 | 方法 | 消波ブロックを対象とした UAV写真測量実績 (件数) |
|-----|------------|-------|-----------------------------|
| A社 | 2020/12/14 | 電話 | 有 (1件) |
| B社 | 2020/12/9 | 電話 | 有 (1件) |
| C社 | 2020/12/15 | 電話 | 無 |
| D社 | 2020/12/22 | 電話 | 有 (1件) |
| E社 | 2020/12/24 | 電話 | 有 (1件) |
| F社 | 2020/12/4 | Web会議 | 有 (1件) |

績の全件を対象としている。

ヒアリング調査の目的は、消波ブロックを対象とした UAV 写真測量において同マニュアルの改訂内容を検討するために必要な課題を抽出することにあることから、同マニュアル改訂内容の検討課題に漏れが生じないように、ヒアリング内容を検討・設定した。そのヒアリング内容のうち、消波ブロックを対象とした UAV 写真測量に関する事項は表-2.1 の通りである。

ヒアリング方法は、対象各社に対し、事前にヒアリング調査票を送付し、2020年12月4日～24日の間に、電話又は Web 会議により実施した。ヒアリング対象会社およびヒアリング実施日等の一覧を表-2.2 に示す。なお、会社名は A 社～F 社 (順不同) としている。

2.2 主な課題の抽出と現地試験の検証内容

ヒアリングの結果、6 社中 5 社は消波ブロックを対象とした UAV 写真測量の実績が各 1 件あった。実績が無かった 1 社については、他の港湾施設において UAV 写真測量の業務実績があったため、「UAV 測量の課題等 (自由意見)」のみヒアリングを行った。

ヒアリング調査結果を基に、特に同マニュアルの改訂に向けて主な課題の抽出を行うとともに、併せて課題を解決するための知見を得るために必要な現地試験の検証内容を検討した (表-2.3)。港湾分野の特徴的な課題として、既に課題として指摘されていた¹²⁾、計測対象である消波ブロックが標定点の外側になることについての意見が多かった (3 件)。この課題については、足場の良い防波堤上部工上のみへの標定点の配置を前提に、外側標定点から外側の計測対象までの距離が計測精度に与える影響について検証し、所要の計測精度が確保される距離を明らかにする必要がある (表-2.3 中の検討項目①)。また、標定点の配置方法の基準化も課題とされている (2 件)。計測精度は、防波堤上部工上への標定点の配置方法 (設置数と設置間隔) により影響を受けることが予想されるため、標定点の配置方法による影響も検証する必

要がある (表-2.3 中の検討項目②)。また、斜め撮影を加えることによる計測精度の向上を背景とした基準の明確化も課題とされている (4 件)。近年、斜め撮影を加えることによる計測精度の向上に関する検討¹³⁾⁻¹⁶⁾が多く行われている。港湾独自の課題として、計測対象が外側標定点の外側にならざるを得ないために計測精度が低下することが想定される中で、斜め撮影を加えることでどの程度の計測精度の向上効果が得られるかは重要であり、斜め撮影の有無による影響も検証する (表-2.3 中の検討項目③)。

なお、現在写真測量に利用される UAV は 2 つに大別される。一つは、搭載されている GNSS 受信機が GNSS 単独測位方式の UAV (以下、従来型 UAV) であり、UAV に搭載された GNSS から得られる座標の誤差が数 m と大きいいため、正確な三次元点群の生成には一定数の標定点を必要とする。もう一つは、カメラ位置を高精度に直接計測できる手法を利用できる UAV (以下、高精度測位型 UAV) であり、三次元点群の生成時に高精度なカメラ位置の座標情報を利用することができる。そのため、所要の計測精度を維持しつつ標定点の数を著しく減少させることができる¹⁷⁾¹⁸⁾。カメラ位置を高精度に直接計測する主な手法として、RTK (Real Time Kinematic)、ネットワーク型 RTK、PPK (Post Processing Kinematic)、自動追尾トータルステーション (以下、自動追尾 TS) が挙げられる。

ヒアリング調査結果における残る主な課題として、上記の高精度測位型 UAV の活用に向けた基準化が見られた。既に ICT 土工分野では、空中写真測量 (無人航空機) を用いた出来形管理要領 (土工編) (案) (令和 2 年 3 月)¹⁹⁾において、「SfM (Structure from Motion) の利用においてカメラ位置を直接計測できる手法 (RTK、ネットワーク型 RTK、PPK、自動追尾 TS 等) を併用する場合は、標定点の設置は任意とすることができる。」とあり、消波ブロック等を対象にしても適用可能かが課題として挙げられている (2 件)。なお、近年、高精度測位型 UAV を用いた場合における、標定点と検証点との距離が計測精度に及ぼす影響を検証した研究¹⁸⁾や、斜め撮影による計測精度の向上を検証した研究²⁰⁾が見られるが、本研究では、上記の従来型 UAV (GNSS 単独測位) と同様に、港湾独自の観点として検討項目①②③を併せて検証することで、標定点から計測対象までの距離、標定点の配置方法、斜め撮影の有無を包括的に検証する。

なお、カメラ位置を直接計測できる代表的な手法である、RTK、ネットワーク型 RTK、PPK、自動追尾 TS の各方式には、それぞれ一長一短がある。例えば、RTK は固

表-2.3 消波ブロックを対象とした UAV 写真測量に係る主な課題と現地試験の検証内容

| 抽出された主な課題 | 類似の意見数 | 検討項目 | 現地試験の検証内容 |
|--|--------|------|--|
| 作業規程の準則では、対象範囲を標定点で囲うこととされているが、防波堤や消波ブロックでは困難 | 3 | ① | 防波堤上部工上へのみ標定点を設置し、外側標定点の外側にある計測対象までの距離が計測精度に与える影響を評価 |
| 防波堤や消波ブロック等を対象とした標定点の配置方法の基準化 | 2 | ② | 防波堤上部工上への標定点の配置方法（設置数と設置間隔）の違いが計測精度に与える影響を評価。 |
| 斜め写真を加えることで位置精度と再現性が向上するならば基準化 | 4 | ③ | 検討項目①②の評価において、斜め撮影の追加の有無が計測精度に与える影響を評価 |
| 空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）では、RTK方式等、カメラ位置を直接計測できる手法が利用できる UAV の場合は、標定点の設置は任意とすることができるが、消波ブロック等へも適用可能か | 2 | ④ | 検討項目①②③をカメラ位置を直接計測できる UAV（RTK方式等）を利用する場合においても評価 |

定局を設置する必要があるが、ネットワーク型 RTK は固定局の設置は不要で電話回線の確保と仮想基準点補正データの購入が必要となり、PPK は固定局の設置や通信回線は不要だが計測後の処理となるためリアルタイムに結果を見ることができない。また、自動追尾 TS は、機器とカメラの特性上、斜め撮影不可といった特徴がある。どの方式を用いるかは現場毎に異なると考えられるため、本研究では、全ての方式を検証対象とした。

以上より、従来型 UAV 及び高精度測位型 UAV のそれぞれにおいて、防波堤上部工上の標定点における配置方法（設置数と設置間隔）の違い、及び、当該標定点と計測対象である消波ブロックまでの距離が計測精度に与える影響について、それぞれ斜め撮影の有無を加味したケースに関する検証を行うものとする。

3. 消波ブロックを対象とした現地試験

3.1 UAV写真測量の概要

UAV 写真測量の三次元点群の作成原理は従来の航空機による空中写真測量と同じくバンドル法が活用される。

近年では、SfMソフトウェアが普及し、操作方法を把握することで誰でも自動的に三次元点群の取得が可能になった。一方で、自動的に得られた三次元点群の精度を確保するための撮影方法等については、現在でも様々な議論が続いている。

バンドル法の基本は、複数の画像上に多くの同一の地物（特徴点）を映り込ませ、「画像上の位置」「レンズ中央」「現実空間の点（特徴点）」が一直線上にあるという共線条件を用いて、各カメラの相対的な「撮影位置」「向き」「特徴点の位置」を同時決定することにある。

このように、バンドル法では複数の画像上に多くの同

一の地物（特徴点）を映り込ませる必要があるため、UAV の同一撮影コース上の進行方向に撮影された画像間の重複（オーバーラップ）と、隣接する撮影コース間の重複（サイドラップ）を確保する必要がある。しかし、画像からは三次元点群の相対的な位置関係の情報しか求まらないため、予め測量により絶対座標が既知となっている標定点を用いて、絶対座標系に載せる調整をする。また、作成された三次元点群の位置精度の検証は、標定点とは別に測量により絶対座標が既知となっている検証点に対する較差を確認することで行われる。

3.2 対象施設と計測諸元等

消波ブロックを含む防波堤を対象とした現地試験では、東北地方整備局釜石港湾事務所の協力を得て、2021年1月13日から1月15日の期間において岩手県宮古市宮古港内の防波堤約150mの範囲を UAV 写真測量の計測対象とした（図-3.1）。現地試験に使用した機器と計測諸元等を表-3.1に示す。

撮影コースは、カメラの向きが垂直のケースを3コースとし、斜め（45度）にした撮影は4方向から行った。オーバーラップ率は80%、サイドラップ率は75%である。従来型 UAV は Phantom4Pro を、高精度測位型 UAV は Phantom4RTK（RTK、ネットワーク RTK、PPK）及び QC730-TS（自動追尾 TS）を用いた。SfMソフトウェアは Pix4DMapper（自動追尾 TS のみ MagnetCollage）を用いている。

なお、3.3及び3.4において配置方法が検討される標定点と検証点の設置の準備として、はじめに基準点測量として GNSS スタティック観測を行い、2級基準点を2点設置している。この2点を与点とし、標定点及び検証点の位置に対空標識を設置し、標定点や検証点自体の座標は、予め中心座標を TS による放射法により観測している。対空標識は、30cm 四方の十字模様を用いた。

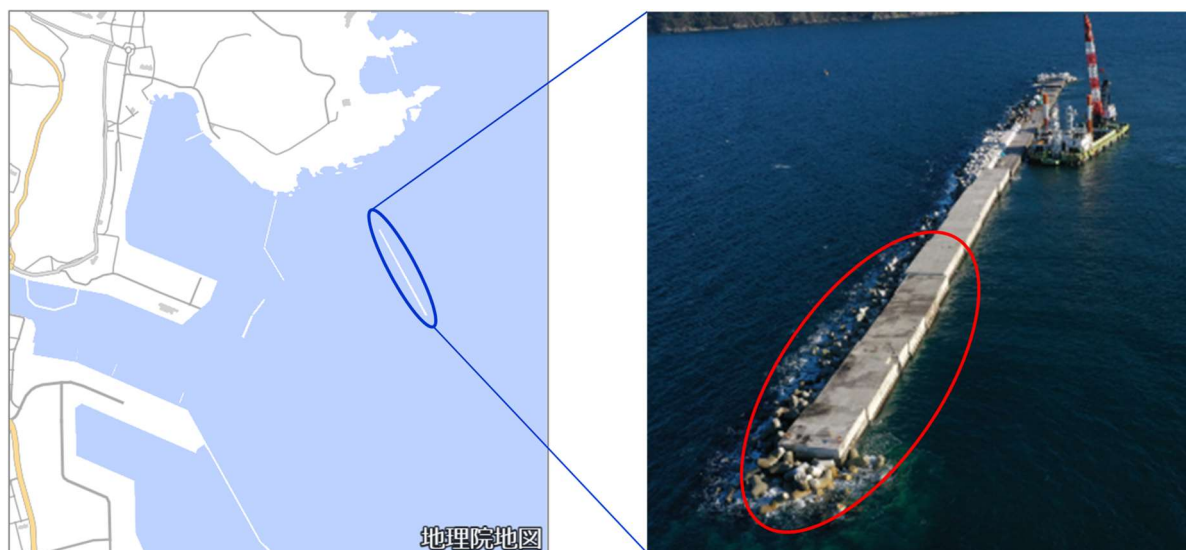


図-3.1 計測対象範囲

表-3.1 計測内容及び計測諸元

| 計測種別 | 従来型 | 高精度測位型 | | | |
|-----------|--------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------|
| | GNSS単独測位 | RTK | ネットワークRTK | PPK | 自動追尾TS |
| UAV | Phantom4Pro | Phantom4RTK | | | QC730-TS |
| 計測機材 | 備え付けカメラ(1インチCMOS)2.41 μm | | | | α 6000 (APSC) 3.91 μm |
| | ピクセル数: 5472 × 3648 | | | | ピクセル数6000 × 4000 |
| | 焦点距離8.8mm | | | | 焦点距離28mm |
| 地上画素寸法 | 0.8cm | 0.8cm | 0.8cm | 0.8cm | 0.8cm |
| 記録方式 | JPEG | JPEG | JPEG | JPEG | JPEG |
| 撮影方法 | 垂直 | 垂直 | 垂直 | 垂直 | 垂直 |
| | 3コース | 3コース | 3コース | 3コース | 3コース |
| | 高度29m | 高度29m | 高度29m | 高度29m | 高度57m |
| | 斜め | 斜め | 斜め | 斜め | — (斜め撮影不可) |
| | 4方向 | 4方向 | 4方向 | 4方向 | |
| 高度21m | 高度25m | 高度25m | 高度25m | | |
| 重複率 | オーバーラップ率 80%、サイドラップ率 75% | | | | |
| 撮影日 | 2021/1/15 | 2021/1/15 | 2021/1/13 | 2021/1/15 | 2021/1/13 |
| SfMソフトウェア | Pix4DMapper | | | | MagnetCollage |

3.3 標定点の配置方法の検討

防波堤上部工上への標定点の配置方法（設置数と設置間隔）の違いが計測精度に与える影響を検証するための標定点の配置方法を検討した。

準則では、要求する位置精度を実現するための「地上画素寸法」及び標定点の配置方法となる「隣接する外側標定点間の距離」「内側標定点と取囲む標定点との距離」について規程があり、作成する三次元点群の位置精度は、0.05m 以内、0.10m 以内又は 0.20m 以内のいずれかを標準としている。位置精度とは、観測した検証点の位置座標と、この地点に相当する三次元点群が示す位置座標との較差の許容範囲を指す。また、UAV活用が進んでいるICT土工分野では、「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）」において、位置精度 0.05m

以内の三次元点群は出来形管理に、位置精度 0.10m 以内は起工測量又は岩線計測に、位置精度 0.20m 以内は部分払い出来高計測にと、その用途毎に、作成する三次元点群の位置精度を設定している。以上の関係を表-3.2に整理した。

また、港湾分野へのUAV写真測量の活用における留意点として、画像内の海面がSfMソフトウェアによる特徴点の自動抽出を困難とし²¹⁾、三次元点群データの生成に支障をきたすことが知られている。防波堤のように四面を海に囲まれた細長い構造物が計測対象の場合、撮影される写真画像に占める海面の比率を下げるために、UAVの撮影高度は自ずと低高度となる。結果的に、地上画素寸法も小さくなり、本現地試験では一枚の画像に占める海面の比率を低減するために地上画素寸法0.8cmと設定

表-3.2 準則等における位置精度と標定点の配置方法等

| | 位置精度 | 地上画素寸法 | 隣接する外側標定点間の距離 | 任意の内側標定点とその点を囲む各標定点との距離 | (参考) 空中写真測量(無人航空機)を用いた 出来形管理要領(土工編) |
|----------|---------|---------|---------------|-------------------------|---|
| パターン I | 0.05m以内 | 0.01m以内 | 100m以内 | 200m以内 | 出来形管理 |
| パターン II | 0.10m以内 | 0.02m以内 | 100m以内 | 400m以内 | 起工測量、岩線計測 |
| パターン III | 0.20m以内 | 0.03m以内 | 200m以内 | 600m以内 | 部分払い出来高計測 |

資料：準則¹⁾及び空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)(令和2年3月)¹⁹⁾より作成

した。これは、最も高い位置精度±5cmを要求する際の地上画素寸法であり、準則との関係では表中のパターンIに対応する。したがって、本現地試験における位置精度の検証は、標定点の配置を変えてSfM処理の結果得られた検証点中心座標における較差が±5cm以内であることを確認することで行う。

以上を踏まえ、現地試験における防波堤上部工上の標定点の配置方法については、下記に示すCASE_A～CASE_Gの計7ケースを設定した。準則に則る表中のパターンIに基づき、標定点を5点(外側標定点4点+内側標定点1点)かつ隣接する外側標定点間の距離を100m以内に設定した配置方法を基準ケース(CASE_E)とした。細長い防波堤上部工上では、天端2列に100m間隔で計4点を外側標定点とし、その中央に1点を内側標定点として配置していることになる。

また、生産性向上に向けた標定点の設置作業削減の観点からCASE_Eから標定点を減じ、標定点を4点、2点、1点、0点としたケース(それぞれCASE_D, CASE_C, CASE_B, CASE_A)を設定した。なお、CASE_Dは基準ケースであるCASE_Eから内側標定点を除いたものである。

他方、外側標定点の外側では計測精度が下がることが予想されるが、標定点を密に配置することで、計測精度の低下を防止できるかを確認するために、6点、9点と標定点を増やしたケース(それぞれCASE_F, CASE_G)を設定した。従来型UAVでは、CASE_B～CASE_Gの計6ケースを、高精度測位型UAVでは、CASE_A～CASE_Cの計3ケースの標定点の配置方法を対象に検証を行った。

以上、計7ケースの標定点の配置方法について図-3.2に模式図を示す。

3.4 検証点の配置方法の検討

外側標定点の外側に存在する計測対象(検証点)までの距離が、計測精度に与える影響を検証するための検証点の配置方法を検討した。当初、外側標定点の外側にある消波ブロック上への検証点の設置作業は、梯子に立方

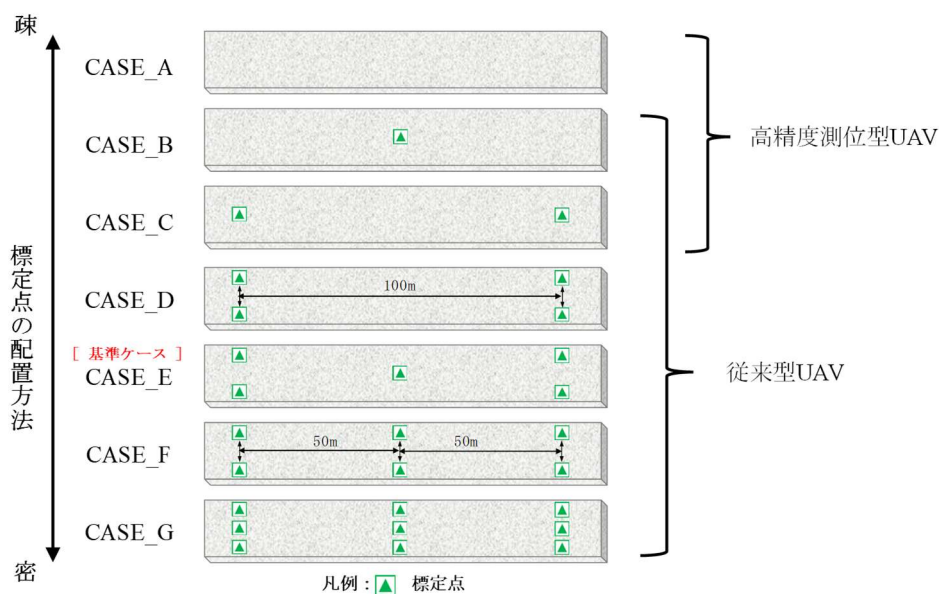


図-3.2 防波堤上部工上への標定点の配置方法(計7ケース)

体の対空標識（ミラーシール付き）を置き、TSで観測する方法によって行った。この方法により、外側標定点の外側1.5m, 3m, 17.5mに3点の検証点を設置したが、設置作業に手間を要する等の課題があった（図-3.3）。しかし、実際に消波ブロック上へ検証点を設置せずとも、足場の良い防波堤上部工上に外側標定点の外側へ検証点を設置することで、外側標定点の外側にある検証点までの距離が計測精度へ与える影響は検証可能であることから、防波堤上部工上の延長方向に外側標定点の外側25mに3点、50mに3点の検証点を設置した。これらに加え、外側標定点の内側に6点の検証点を配置している。

以上より、本現地試験における検証点は計15点となっ



図-3.3 梯子による検証点の設置風景

た。現地における検証点の配置方法を図-3.4に示す。図-3.4における検証点の番号（①～⑮）のうち、①～⑥は、外側標定点の内側であり準則の標準における計測対象範囲に相当する。⑦～⑨は、外側標定点の外側（近距離：⑦1.5m, ⑧3m, ⑨17.5m）であり、⑩～⑫は外側標定点の外側（中距離：25m）、⑬～⑮は外側標定点の外側（遠距離：50m）となっている。これにより、外側標定点の内側から、外側は1.5mから50mまでの距離における計測精度を比較検証することができるようにした。

4. 計測結果

4.1 従来型UAVによる計測結果

(1) 計測結果の整理

標定点の配置方法（設置数と設置間隔）と外側標定点の外側方向への距離が計測精度に与える影響について比較検証を行う。

外側標定点の外側方向への距離が計測精度に与える影響は、検証点①～⑮における計測精度の差異として評価され、標定点の配置方法の違いによる影響は、CASE_B～CASE_Gにおける計測精度の差異として評価される。また、斜め方向の撮影を加えることによる計測精度への影響は、撮影方向が垂直方向のみの場合との計測精度の差異として評価される。計測誤差は、水平方向（図-4.1・図-4.2）と高さ方向（図-4.3・図-4.4）毎に比較検証を行う。なお、図中の誤差の値は絶対値を用いている。

水平方向の計測誤差は、図-4.1・図-4.2より、垂直方向の撮影に斜め方向の撮影を加えるか否かに関わらず、CASE_Bでは、外側25m（検証点⑩～⑫）で10cm以上、外

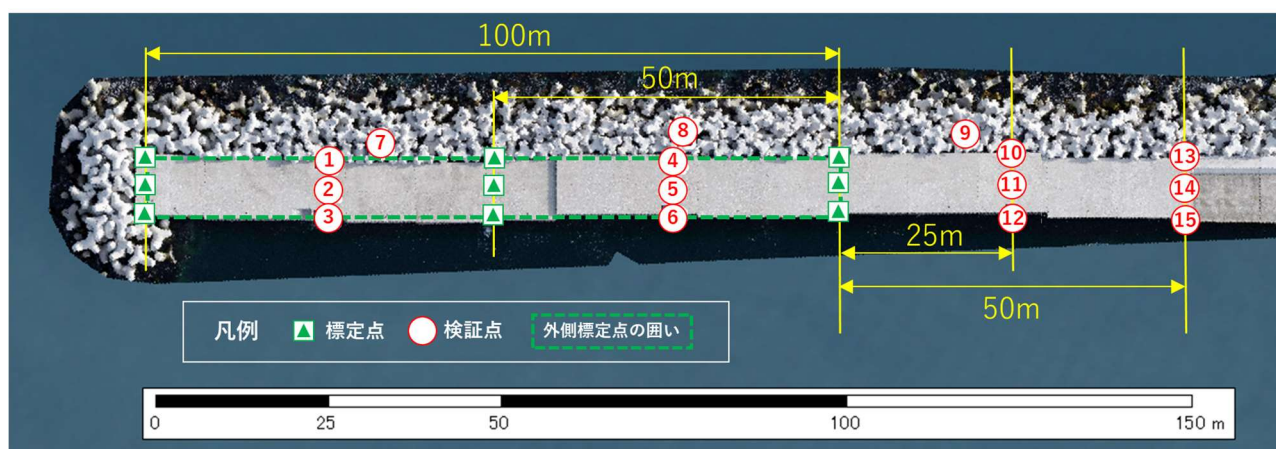


図-3.4 検証点等の配置状況

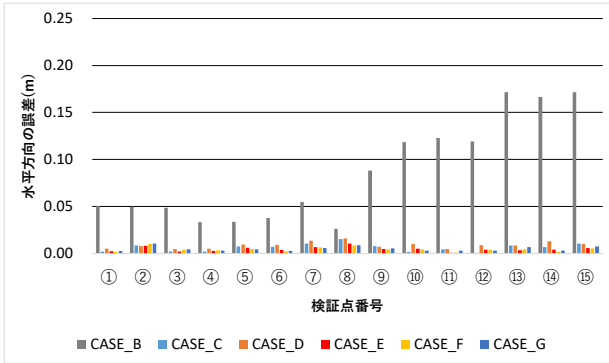


図-4.1 検証点における水平方向の誤差(撮影方向:垂直のみ)

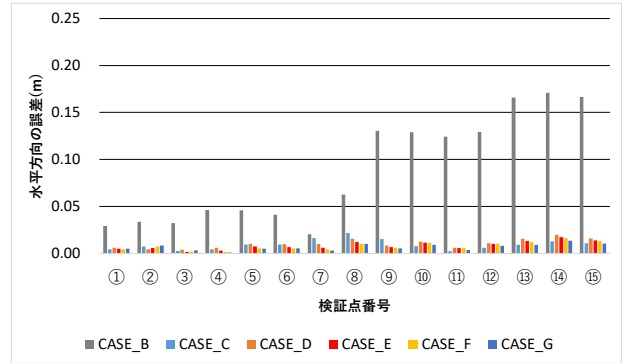


図-4.2 検証点における水平方向の誤差(撮影方向:垂直+斜め)

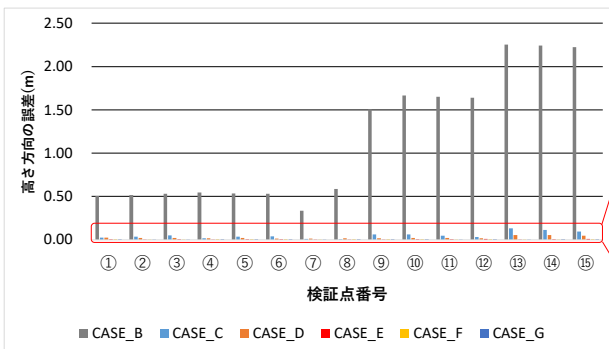


図-4.3 検証点における高さ方向の誤差(撮影方向:垂直のみ)

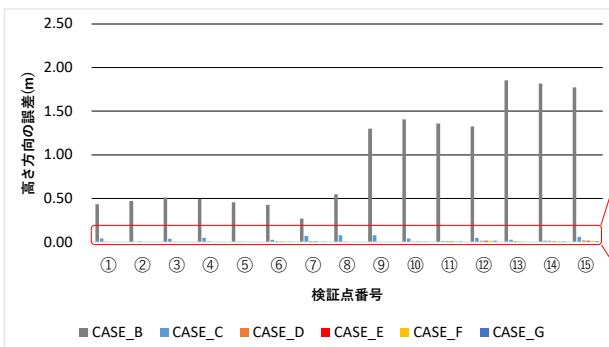
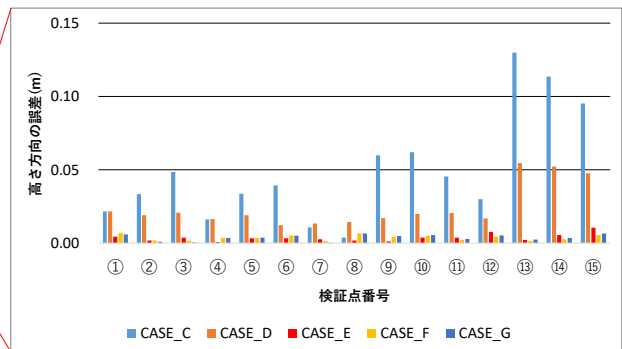


図-4.4 検証点における高さ方向の誤差(撮影方向:垂直+斜め)

側50m(検証点⑬~⑮)では15cm以上の誤差が生じおり、外側標定点の外側への距離が計測精度に影響を与えている。一方、CASE_C~CASE_Gでは、外側標定点の外側への距離が計測精度に与える影響は若干見られるものの、斜め方向の撮影を加えるか否かに関わらず、全ての検証点において5cmを達成している。

他方、図-4.3・図-4.4より、水平方向の誤差(図-4.1・図-4.2)と比較して高さ方向の計測誤差は卓越しており、またCASE_B~CASE_Gにおいて、標定点の数が少ない程、外側標定点の外側への距離が計測精度に与える影響が大きいことが分かる。斜め方向の撮影を加えてもCASE_Bでは、外側25m(検証点⑩~⑫)で1m以上、外側

50m(検証点⑬~⑮)では1.5m以上の誤差が生じている(図-4.4)。CASE_Cでは、撮影方向が垂直方向のみの場合、外側50m(検証点⑬~⑮)で10cm以上の誤差が生じるが(図-4.3)、斜め方向の撮影を加えることで、全ての検証点において10cmを達成している(図-4.4)。また、CASE_Dでは、撮影方向が垂直方向のみの場合(図-4.3)、外側50m(検証点⑬~⑮)で5cm以上の誤差が生じるが、斜め方向の撮影を加えることで(図-4.4)、全ての検証点において5cmを達成しており、CASE_E~CASE_Gでは、斜め方向の撮影の有無に関わらず、全ての検証点において5cmを達成している。なお、基準ケースであるCASE_Eよりも標定点の配置を密にしたCASE_FとCASE_Gによ

る外側標定点の外側における精度向上の効果は微小であり、基準ケース (CASE_E) より標定点を密に配置する明瞭な必要性は認められなかった。

(2) 得られた知見とマニュアル改定に向けた提案事項

(1)の結果から、外側標定点の外側50mまでを計測対象範囲と想定した場合、準則に則った基準ケースであるCASE_Eであれば、外側50mまで5cmの計測精度を達成することが確認された。これは斜め方向の撮影の有無に関わらず成立しているため頑健性の高い計測結果であると考えられる。したがって、従来型UAVの利用において、標定点は、100m以内毎に防波堤幅の両端2列に外側標定点とその内側に1点の内側標定点を配置することを標準とすることが妥当であると考えられる。

また、斜め方向の撮影を加えた場合では、内側標定点を配置しないCASE_Dであっても外側50mまで5cmの計測精度を達成することが確認された。内側標定点の省略の可能性についての知見であり、斜め方向の撮影が推奨される根拠となり得る。他方、本検証は1回の計測結果であり、かつ斜め方向の撮影があった場合にのみ5cmが達成されることから、内側標定点の省略を標定点の配置方法の標準と定めるには、異なる計測条件 (斜め撮影の角度も含む) の下でも同様の成果が得られるか検証の蓄積が必要であると考えられる。

4.2 高精度測位型UAVによる計測結果

(1) RTK方式による計測結果の整理

水平方向の計測誤差は、図-4.5より、斜め撮影無しの場合でも標定点を配置しないCASE_Aで全ての検証点において10cmを達成する。標定点を1点配置するCASE_Bで検証点①～⑫は5cmを達成するが、外側50mの距離にある検証点⑬～⑮では5cmを僅かに超えている。標定点を2点配置するCASE_Cでは全ての検証点において5cmを達成するが、検証点①～⑫に比べ検証点⑬～⑮の計測精度が若干ではあるが低下している。このように、CASE_B・CASE_Cでは、標定点と検証点までの距離が計測精度を低下させる傾向がある。斜め撮影を加えた場合では、CASE_Aでもほぼ全ての検証点において5cmを達成し、CASE_B・CASE_Cでは全ての検証点で5cmを達成する。なお、CASE_Bでは、斜め撮影を加えることで、標定点から検証点までの距離による計測精度の低下が抑制される傾向がある。

高さ方向の計測誤差は、図-4.6より、斜め撮影無しの場合でもCASE_Aで全ての検証点において10cmを達成する。CASE_B・CASE_Cで全ての検証点において5cmを達

成するが、標定点と検証点までの距離が計測精度を低下させる傾向がある。斜め撮影を加えた場合では、CASE_Aでもほぼ全ての検証点で、CASE_B・CASE_Cでは全ての検証点で5cmを達成する。また水平方向の誤差と同様、CASE_Bでは、斜め撮影を加えることで、標定点から検証点までの距離による計測精度の低下が抑制される傾向がある。

(2) ネットワークRTK方式による計測結果の整理

水平方向の計測誤差は、図-4.7より、斜め撮影なしの場合でもCASE_Aで全ての検証点において10cmを達成する。CASE_Bでは検証点①～⑧は5cmを達成するが、外側17.5m以上の距離にある検証点⑨～⑮では5cmを僅かに超えている。CASE_Cでも全ての検証点において5cmを達成するが、検証点①～⑫に比べ検証点⑬～⑮の計測精度が低下している。このように、CASE_B・CASE_Cでは、標定点と検証点までの距離が計測精度を低下させる傾向がある。斜め撮影を加えた場合では、CASE_Aでも全ての検証点において5cmを達成する。なお、CASE_B・CASE_Cでは、斜め撮影を加えることで、標定点から検証点までの距離による計測精度の低下が抑制される傾向がある。

高さ方向の計測誤差は、図-4.8より、斜め撮影無しの場合でもCASE_Aで全ての検証点において10cmを達成する。CASE_Bでは、検証点①～⑧は5cmを達成するが、検証点⑨～⑮では5cmを僅かに超えており、標定点と検証点までの距離が計測精度を低下させる傾向がある。CASE_Cでは全ての検証点において5cmを達成する。また、斜め撮影を加えた場合では、CASE_Aでも全ての検証点において5cmを達成する。なお、CASE_Bでは、斜め撮影を加えることで、標定点から検証点までの距離による計測精度の低下が抑制される傾向がある。

(3) PPK方式による計測結果の整理

水平方向の計測誤差は、図-4.9より、斜め撮影無しの場合でもCASE_Aで全ての検証点において10cmを達成する。CASE_B・CASE_Cでは全ての検証点で5cmを達成し、標定点と検証点までの距離が計測精度を低下させる傾向がある。斜め撮影を加えた場合では、CASE_Aでも全ての検証点において5cmを達成する。なお、CASE_B・CASE_Cでは、斜め撮影を加えることで、標定点から検証点までの距離による計測精度の低下が抑制される傾向がある。

高さ方向の計測誤差は、図-4.10より、斜め撮影の有無に関わらずCASE_Aでも全ての検証点において5cmを達成した。

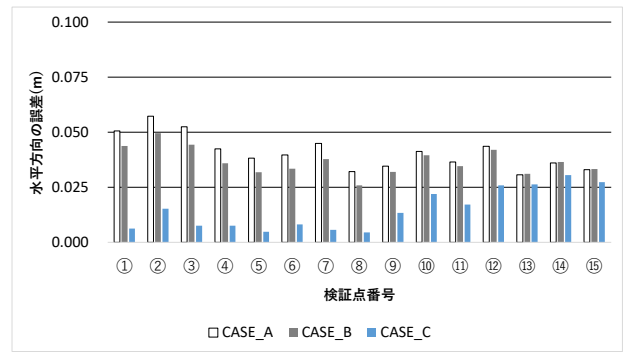
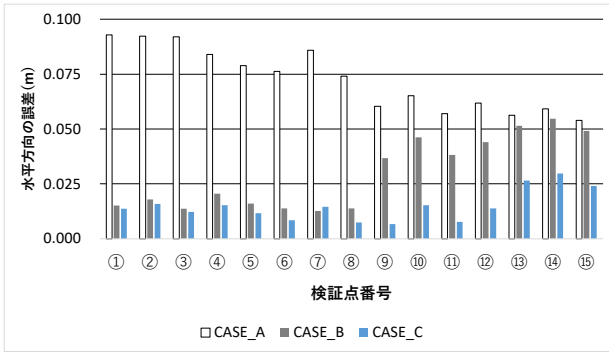


図-4.5 RTK 方式を用いた場合の水平方向の誤差(撮影方向:左図 垂直のみ, 右図 垂直+斜め)

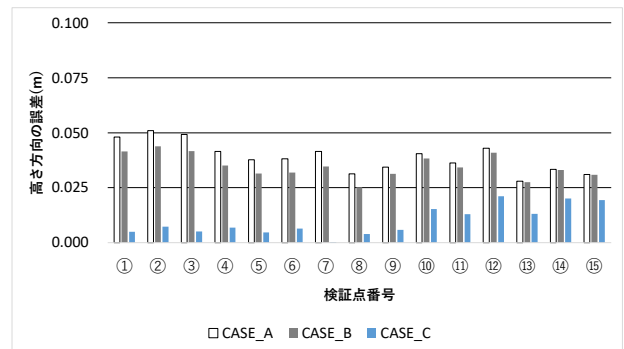
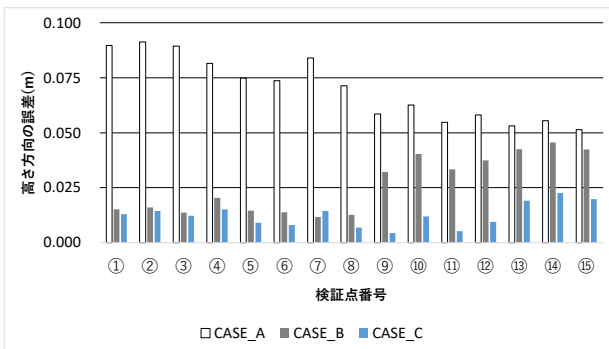


図-4.6 RTK 方式を用いた場合の高さ方向の誤差(撮影方向:左図 垂直のみ, 右図 垂直+斜め)

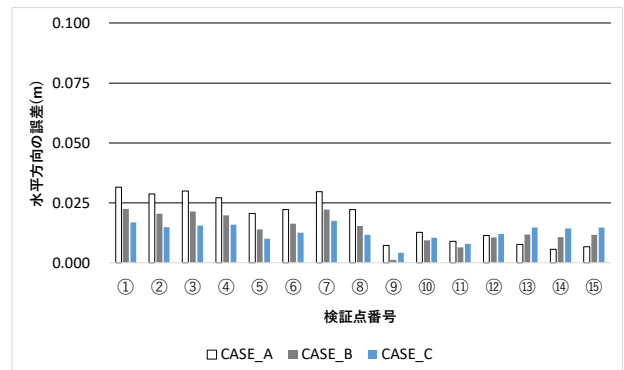
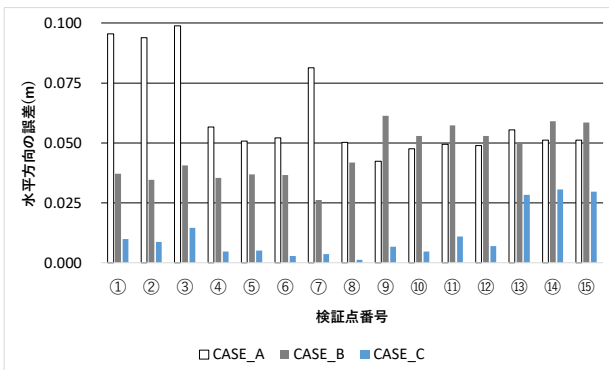


図-4.7 ネットワーク RTK 方式を用いた場合の水平方向の誤差(撮影方向:左図 垂直のみ, 右図 垂直+斜め)

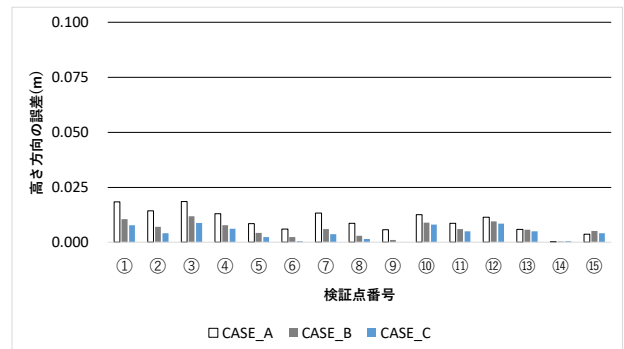
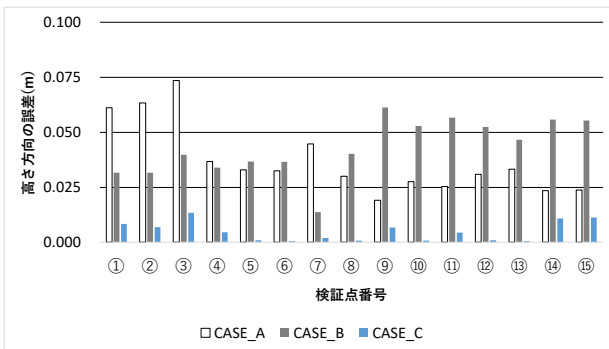


図-4.8 ネットワーク RTK 方式を用いた場合の高さ方向の誤差(撮影方向:左図 垂直のみ, 右図 垂直+斜め)

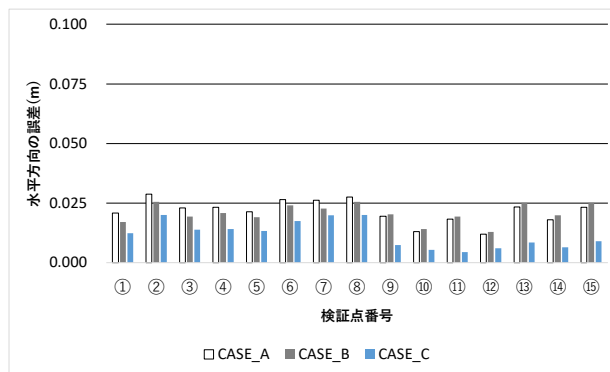
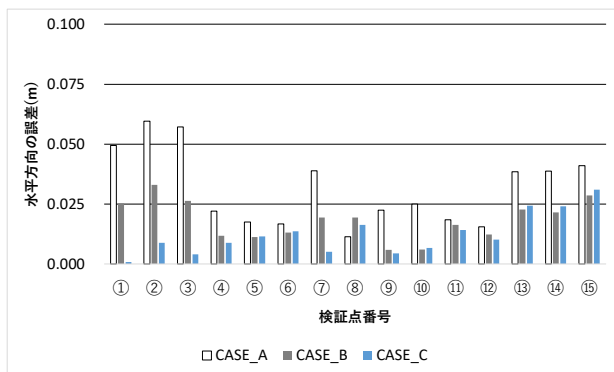


図-4.9 PPK方式を用いた場合の水平方向の誤差(撮影方向:左図 垂直のみ, 右図 垂直+斜め)

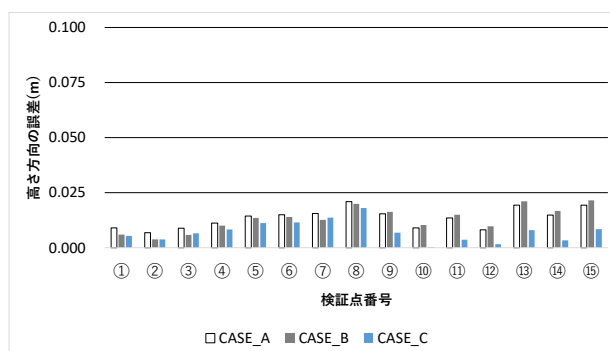
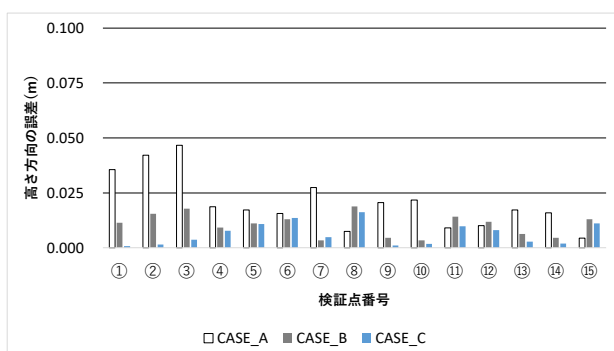


図-4.10 PPK方式を用いた場合の高さ方向の誤差(撮影方向:左図 垂直のみ, 右図 垂直+斜め)

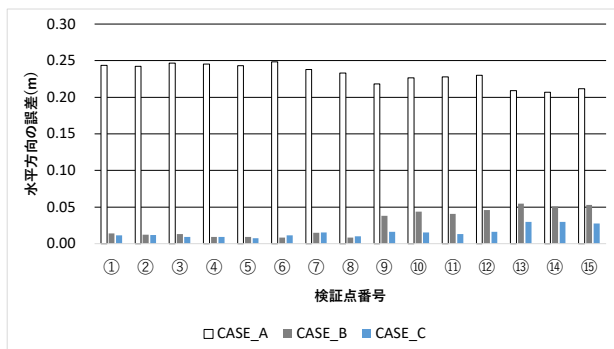


図-4.11 自動追尾TSを用いた場合の水平方向誤差

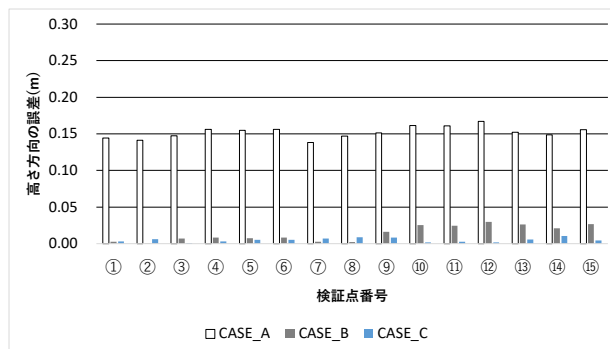


図-4.12 自動追尾TSを用いた場合の高さ方向誤差

(4) 自動追尾TS方式による計測結果の整理

水平方向の計測誤差は、図-4.11より、CASE_Aで全ての検証点において25cmを達成する。CASE_Bでは検証点①～⑫は5cmを達成するが、検証点⑬～⑮では5cmを僅かに超えており、標定点と検証点までの距離が計測精度を低下させる傾向がある。CASE_Cでは全ての検証点において5cmを達成するが、こちらも標定点と検証点までの距離が計測精度を低下させる傾向がある。なお、先に述べたとおり、自動追尾TSは、機器とカメラの特性上、斜め撮影はできない。

高さ方向の計測誤差は、図-4.12より、CASE_Aで全ての検証点において20cmを達成し、CASE_B・CASE_Cでは全ての検証点で5cmを達成する。なお、CASE_Bでは、標定点と検証点までの距離が計測精度を低下させる傾向がある。

(5) 得られた知見とマニュアル改定に向けた提案事項

以上の結果から、RTK・ネットワークRTK・PPK方式を利用する場合、水平方向と高さ方向の誤差は、斜め撮影無しの場合でも標定点を配置しなくても10cmの精度

が期待できる。更に、標定点を1点配置することで、概ね5cm程度の精度を期待できるが、標定点から検証点までの距離が長くなると計測精度が低下する傾向があるため留意が必要である。標定点を2点配置すれば、5cmの精度が期待できる。

斜め撮影を加えることで、標定点を配置しなくても概ね5cm程度の精度を期待できる。標定点を1点配置した場合、5cmの精度が期待できるだけでなく、標定点から検証点までの距離が長くなることによる計測精度の低下が抑制される傾向にあった。

斜め撮影ができない自動追尾TS方式を利用する場合は、水平方向と高さ方向の誤差は、標定点を配置しなくても概ね20cm程度の精度が期待できる。標定点を1点配置すれば概ね5cmの精度が期待できるが、標定点から検証点までの距離が長くなると計測精度が低下する傾向があるため留意が必要である。標定点を2点配置すれば、5cmの精度が期待できる。

これらの検証結果からは一律に標定点の設置を省略して良いとまでは言えないものの、同マニュアルがブロック据付後の維持管理のための完成形状の把握に向けたデータ取得を目的としていることから、各維持管理主体が求める計測精度への要求水準に合わせられる形として標定点の設置を任意とすることは許容されると考えられる。また、併せて斜め撮影は推奨されると考えられる。

5. まとめ

本研究が対象とする実証実験による検証結果は、2021年4月のマニュアル改訂の根拠として採用され、同マニュアルの改訂版（令和3年4月版）²²⁾において、p12「位置精度向上が期待されることから、斜め写真の撮影を加えて実施することを推奨する。」、p13「標定点は、100m以内毎に防波堤幅の両端2列に外側標定点とその内側に1点の内側標定点を配置することを標準とする。また、検証点は200m間隔以内で最低2点以上設けることを標準とする。なお、検証点は標定点とは別に設置する必要がある。これらの標定点及び検証点は消波ブロック上には配置しないことも可とする。」、p13「UAV写真測量の計測手法のうち、RTK方式、ネットワーク型RTK方式、PPK方式、自動追尾型トータルステーション方式を活用し、撮影時のカメラの位置情報を取得することが可能な場合は、標定点の配置は任意とすることができる。」ことが明記された。なお、実際の反映箇所を付録に示す。

6. あとがき

今後の課題として、引き続き様々な条件下における検証結果を蓄積していくことが挙げられる。例えば、標定点から検証点までの距離が更に大きくなった場合における計測精度への影響や、斜め撮影における最適な角度等は、継続的な検証及び情報収集が求められる。

また、本研究において主に着目した計測精度5cmは、準則及び空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）（令和2年3月）が求める最も高い要求水準であり、その観点からは、本現地試験は最も厳しい検証を行ったことになる。しかしながら、同マニュアルにおいては、UAV写真測量を用いて生成される三次元点群データのメッシュ化等を含めた維持管理における完成形状の把握や変状の検出等のための具体的なデータ活用方法や、三次元点群データ自体に要求される計測精度は示されておらず、これらは各維持管理主体に委ねられている。

他方、消波ブロックを対象とした維持管理における一般定期点検診断では、標準的な劣化度判定基準として、陸上及び海上からの目視により、消波ブロックの移動、散乱、沈下等の変状について把握することが標準とされており、劣化度の判定基準（a～d）として「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」が示されている²³⁾。また、詳細定期点検診断は水中部を対象としているが、水中部の移動、散逸、沈下等の変状の多くは、消波ブロック（陸上部）の変状として現れると考えられるため、UAV写真測量の活用により一般定期点検診断の生産性向上だけでなく詳細定期点検診断の生産性向上に資する情報が得られることも期待される。

以上より、今後は上記の点検診断に係る基準を念頭に、消波ブロックを対象とした維持管理における完成形状の把握や変状の検出等のための具体的なデータ活用方法を示すとともに、データ活用方法毎に要求される計測精度を検討し、各計測精度を実現するための標準的な標定点の配置方法や地上画素寸法等との対応関係を明らかにしていくが必要になると考える。

（2021年11月17日受付）

謝 辞

本資料をとりまとめるにあたり、ヒアリングでは、一般社団法人海洋調査協会会員企業の皆様に、現地試験では、東北地方整備局港湾空港部港湾空港整備・補償課及び釜石港湾事務所の皆様にご協力を頂きました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 齋藤聡・須藤浩・鍋谷泰紀：防波堤消波工の ICT 技術を活用した現況把握における安全性と生産性の向上，平成 28 年度東北地方整備局管内業務発表会，2016.
- 2) 清水毅・大筒牧男：輪島港防波堤工事における ICT の試行について，平成 29 年度北陸地方整備局事業研究発表会，2017.
- 3) 山本也実・菅原健司・松本浩史：UAV を用いた消波ブロックの施工管理について，第 62 回北海道開発技術研究発表会発表論文集，2018.
- 4) 佐々木信和・浮田浩行・中野晋・石河雅典：港湾・海岸における被災状況調査時の UAV 運用の安全性向上技術の検討，土木学会論文集 B3（海洋開発）Vol. 74, No.2, pp.I_115-I_120, 2018.
- 5) 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, I_121-I_126, 2019.
- 6) 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.
- 7) ICT 導入協議会：第 13 回協議会資料（【資料-2】，2021.
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/content/001416606.pdf>, 2021.11.5 最終閲覧
- 8) 国土交通省港湾局：第 1 回港湾における i-Construction 推進委員会配布資料，2020.11.
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/Shiryo.pdf>, 2021.4.16 最終閲覧
- 9) 坂田憲治・井山繁・藤井敦・宮田正史：点検診断の劣化度判定結果による消波ブロック被覆堤本体工側壁の変状傾向に関する一考察，国土技術政策総合研究所資料，Vol. 918, 2016.
- 10) 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 2 年 4 月版）。

- <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11520294/www1.mlit.go.jp/kowan/content/001335216.pdf>, 2021.11.5 最終閲覧
- 11) 国土交通省国土地理院：作業規程の準則（令和 2 年国土交通省告示第 461 号）
https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/pdf/r2/r2_jyunsoku.pdf, 2021.11.5 最終閲覧
 - 12) 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，Vol. 1024, 2018.
 - 13) 神野有生・宮崎真弘・八田滉平・福元和馬：UAV 写真測量の SfM における斜め撮影の導入に関する基礎的シミュレーション，日本写真測量学会平成 30 年度秋季学術講演会発表論文集，32-33, 2018.
 - 14) 澤可那子・阪上雅之・菅井秀翔・野口真弓・笹川啓：SfM/MVS 技術を用いた写真測量における斜め撮影追加の有効性検証，日本写真測量学会令和元年度年次学術講演会発表論文集，1-4, 2019.
 - 15) 片山理佐子・関口泰徳・笹川啓：UAV 写真測量における最適撮影手法の検討，日本写真測量学会令和 2 年度年次学術講演会発表論文集，11-14, 2020.
 - 16) 小室隆・浦川貴季・米原千絵・宮崎真弘・神野有生・赤松良久：RTK-GNSS 搭載型 UAV による複数天底角・複数高度撮影に基づく標定点を用いない河道写真測量，河川技術論文集(25), pp.237-242, 2019.
 - 17) 早川健太郎・黒台昌弘・西田信幸・佐々木剛：3 次元出来形計測を対象とした自動追尾型 TS を用いた UAV の現場実証，土木学会論文集 F3（土木情報学）73(2), pp.I_380-I_387, 2017.
 - 18) 木村圭佑・山下尚・小塚清：RTK-GNSS 搭載型 UAV を用いた空中写真測量における標定点数削減に関する検討，令和 2 年度 建設施工と建設機械シンポジウム，2020.
 - 19) 国土交通省：空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）（令和 2 年 3 月），pp35.
<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11547459/www1.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/content/001336357.pdf>, 2021.11.5 最終閲覧
 - 20) 片山理佐子・笹川啓・関口泰徳・茶谷隆行・澤可那子：3 次元データの取得・活用による地図情報整備に関する検討-UAV 撮影の高精度化・効率化等を図る技術-，令和元年度調査研究年報，pp.82-85, 2020.
 - 21) 国土交通省国土地理院：UAV を用いた公共測量マ

マニュアル（案）（平成 28 年 3 月）， pp32.

https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9969171/psgs-v2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/doc/uav_manual_160330.pdf, 2021.11.5 最終閲覧

- 22) 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）.

<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001397878.pdf>, 2021.11.5 最終閲覧

- 23) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン，2021，

https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000051.html, 2021.11.5 最終閲覧

付録 検証結果の「ICT 機器を用いた測量マニュアル（ブロック据付工編）」への反映箇所

ICT機器を用いた
測量マニュアル（ブロック据付工編）
（令和2年4月版）

【抜粋】

2.8 計測における留意事項

ICT 機器を用いたブロック据付工（根固ブロック据付、被覆ブロック据付、消波ブロック据付）の計測（据付形状の把握）にあたっては、以下に示す事項に留意する。

(1) 水中部 (中略)

(2) 陸上部

撮影コースの方向は、計測対象範囲の形状を鑑みて、コース数の少ない方向を選定するが、比高の大きい場合や撮影日の風向にも影響される。

防波堤等のように、側面がある構造物の場合、また消波ブロック等の複雑な構造物がある場合は、垂直写真だけでは側面の点密度が不足するため、斜め写真の撮影を加えても良い。斜め写真は垂直写真と同一対象物を撮影するように撮影コースとし、斜め撮影の同一コース内の隣接空中写真間は、80%以上とする。高度は垂直写真と斜め写真の地上画素寸法が概ね同等となるようにカメラの角度および高度を計算して設定する。

図-2.2 に示すように、少なくとも1枚以上の空中写真が対象範囲の外側に撮影されるように計画する。また、海面は3次元データ作成の際に障害となるため、図-2.3 に示すように1枚の写真に写る水域部の割合は、極力少なくする。

(3) その他 (中略)

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）

【抜粋】

2.8 計測における留意事項

ICT 機器を用いたブロック据付工（根固ブロック据付、被覆ブロック据付、消波ブロック据付）の計測（据付形状の把握）にあたっては、以下に示す事項に留意する。

(1) 水中部 (中略)

(2) 陸上部

○ UAV 写真測量（撮影計画）

UAV 写真測量の撮影コースの方向は、計測対象範囲の形状を鑑みて、コース数の少ない方向を選定するが、比高の大きい場合や撮影日の風向にも影響される。

防波堤等のように、側面がある構造物の場合消波ブロック等の複雑な構造物がある場合は、垂直写真だけでは側面の点密度が不足するため、及び位置精度向上が期待されることから、斜め写真の撮影を加えて実施することを推奨する。

斜め写真は垂直写真と同一対象物を海側から撮影できるコースを設定し、写真の中心に対象施設が撮影されるようにする。

斜め撮影の同一コース内の隣接空中写真間は80%以上、コース間隔は60%以上とする。高度は垂直写真と斜め写真の地上画素寸法が概ね同等となるようにカメラの角度および高度を計算して設定する。なお、撮影においては単コース撮影では誤差が大きくなる傾向があること、消波ブロックで3次元の再現性が劣ることから、複数コースによる撮影を標準とする。

また、図-2.2 に示すように、少なくとも1枚以上の空中写真が対象範囲の外側に撮影されるように計画する。地上画素寸法については、3次元データの利用目的や要求精度を考慮し、他の基準類などを参照し決定することができる。なお、海面は3次元データ作成の際に障害となるため、図-2.3 に示すように1枚の写真に写る水域部の割合は、極力少なくする。

UAV 撮影時の写真データの記録方式については、RAW 撮影を推奨とするが、JPEG 形式で記録しても良い。

(中略)

○ UAV 写真測量（標定点設置）

『作業規定の準則（一部改正 令和2年3月31日 国土交通省告示 第461号）』では、「標定点は、計測対象範囲を囲むように配置する点（外側標定点）および計測対象範囲内に配置する点（内側標定点）で構成する。」とされているが、作業の効率性・安全性の向上の観点から、消波ブロック据付（陸上部）においては、

「標定点は、100m 以内毎に防波堤幅の両端2列に外側標定点とその内側に1点の内側標定点を配置することを標準とする。また、検証点は200m 間隔以内で最低2点以上設けることを標準とする。なお、検証点は標定点とは別に設置する必要がある。これらの標定点及び検証点消波ブロック上には配置しないことも可とする。」

UAV 写真測量の計測手法のうち、RTK 方式、ネットワーク型 RTK 方式、PPK 方式、自動追尾型トータルステーション方式を活用し、撮影時のカメラの位置情報を取得することが可能な場合は、標定点の配置は任意とすることができる。なお、検証点については、200m 間隔以内で最低2点以上設けて精度を評価するものとする。

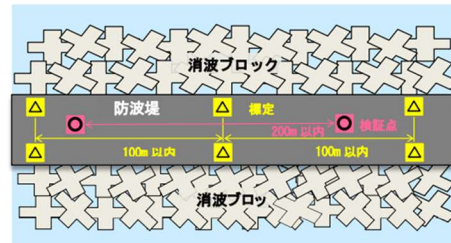


図-2.4 UAV 写真測量 標定点と検証点の設置イメージ

(3) その他 (中略)

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1179 December 2021

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〔 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019 〕
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所資料

No.1179

港湾分野における消波ブロックを対象とした3次元写真測量の効率的な標定点の配置
方法に関する検討

December 2021