

別紙 2 計測マニュアル

別紙 2 計測マニュアル

目次

第 1 章	マルチビーム	1
1.1	適用工種等	1
1.2	作業工程	3
1.3	計測計画・準備	4
1.4	計測基準	7
1.5	計測	8
1.5.1	艀装・テスト	8
1.5.2	水深測量	13
1.6	計測における留意点	16
1.7	計測性能・精度管理	18
1.8	データ解析	21
1.8.1	浚渫工	22
1.8.2	基礎工	25
1.8.3	海上地盤改良工	26
1.8.4	ブロック据付工	27
1.9	データ管理	28
第 2 章	UAV	29
2.1	適用工種等	29
2.2	作業工程	30
2.3	計測計画・準備	31
2.4	計測基準	32
2.5	機器の装備・設置およびテスト	33
2.6	計測・撮影	34
2.7	計測における留意点	36
2.8	計測性能・精度管理	39
2.9	データ解析	40
2.10	データ管理	41

第1章 マルチビーム

1.1 適用工種等

マルチビーム測深の適用工種等は以下とする。

- ・浚渫工
- ・基礎工
- ・海上地盤改良工
- ・ブロック据付工

【解説】

(1) 適用工種、適用範囲

マルチビーム測深の適用工種、適用範囲は以下のとおりとする。

表 1.1-1 適用工種、適用範囲

適用工種	適用範囲	適用水深
浚渫工	起工測量、出来形計測	30m 以浅
基礎工（基礎捨石工／捨石本均し、捨石荒均し）	起工測量、出来形計測	30m 以浅
海上地盤改良工（床掘工、置換工）	起工測量、出来形計測	－
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）	起工測量、 完成形状の把握	－

(2) 適用するスワス測深技術

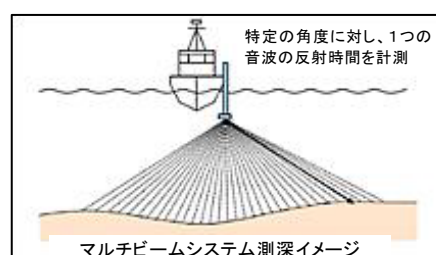
海底地形を面的に詳細に計測するスワス測深には 2 種類あり、主にクロスファンビーム（ミルズクロス）方式に代表されるマルチビーム測深と、インターフェロメトリ方式に代表されるインターフェロメトリ測深であり、測量船の左右方向に指向性の鋭い音響ビームを海底に照射し、船の進行とともに一括で多数点の水深値を計測する測深システムである。

本要領における 3 次元点群データの取得は、マルチビーム測深によるものとする。

＜スワス測深システムの計測原理の主な特徴＞

クロスファンビーム方式のビームフォーミングによる計測密度は、音波を照射する範囲（以下スワスと記す）の中心側に対して外側のデータが粗くなる。ただし、各角度に対する往復時間の解が 1 つであるため、高い施工精度が要求される岸壁前面や岩礁帯のような凹凸の激しい地形を正確に計測することができる。

一方、インターフェロメトリ方式の場合は、干渉波を使用するため、スワスの中心付近では極端に計測点が少なくなるが、スワス幅はクロスファンビームより広範囲（水深の 8～12 倍）にわたって大量の計測点を得ることが可能である。そのため特に極浅海域において、マルチビームよりも効率的な測深作業が期待できる。また、サイドスキャン機能を有しており海底反射強度データの取得も可能である（一部のマルチビームも可能）。ただし、岸壁や岩礁帯のような凹凸の激しい地形に対しては、海底面からの反響信号と壁の反響信号とが干渉してしまうため正確な計測が困難になる場合がある。



「海洋調査技術マニュアルー深浅測量ー（（一社）海洋調査協会）」より転載

(3) 適用範囲と本要領の利用上の注意点

① 浚渫工

本要領では、浚渫工の出来形管理等に求められる要求精度を満たすように、マルチビームを使用した測深を前提とする。

使用するマルチビームは、浚渫結果を適切に表現できる性能を保有する機器とする。

なお、本要領は、出来形測量データの水路測量への活用にも対応するものである。

② 基礎工

本要領では、基礎捨石工の出来形管理等に求められる要求精度を満たすように、マルチビームを使用した測深を前提としている。

使用するマルチビームについては、基礎捨石工の計測結果を適切に表現できる性能を保有する機器とする。

なお、床掘工または置換工を伴う工事の場合には、床掘工または置換工（捨石投入直前の工種）の出来形計測は、ICT 基礎工の起工測量を兼ねるものとする。

③ 海上地盤改良工

本要領では、床掘工・置換工の出来形管理等に求められる要求精度を満たすように、マルチビームを使用した測深を前提としている。

使用するマルチビームについては、床掘および置換材投入結果を適切に表現できる性能を保有する機器とする。

④ ブロック据付工

使用するマルチビームは、ブロック据付後の維持管理において完成形状を把握するデータを適切に取得できる性能を保有する機器とする。

ただし、計測データを設計図書等として使用する場合など、他の目的、規定により本要領に拠らない場合は、それぞれ精度・性能を満たすよう特記仕様書に示すことにより変更することができる。

なお、起工測量として海底地盤（捨石マウンド等）の計測にマルチビームを使用する場合には、本計測マニュアル、もしくは「3次元データを用いた漁港漁場関係工事数量算出要領(基礎工編)」に示される計測方法を準用することができる。

1.2 作業工程

マルチビーム測深の工程別作業区分および順序は、次のとおりとする。

- (1) 測量計画・準備
- (2) 艀装・テスト
- (3) 水深測量
- (4) 計測基準
- (5) 検測・精度管理
- (6) データ解析
- (7) データ管理

【解説】

工程別作業区分(1)～(7)について、以降の「1.3」～「1.9」に示す。

1.3 計測計画・準備

測量実施者は、作業の着手前に作業方法、使用する主要な機器、要員、日程等について適切な測量計画を立案し、これを発注者に提出する。測量計画を変更しようとする場合も同様とする。資料収集、現地調査が必要であれば行い、計測の精度を高めるよう準備する。

【解説】

(1) 計測計画

計測計画は作業工程によるほか、作業毎に作成するものとする。

計測計画は、以下の条件を満足するよう、計測区域の水深、海底地形、有効測深幅を考慮し、未測深が生じないように測線を設定する。

① 浚渫工

＜CUBE 処理によらない場合＞

スワス角 $\pm 45\sim 60^\circ$ （全角 $90\sim 120^\circ$ ）、取得点密度（3 点以上／1.0m 平面格子（達成率 99%以上））で測深が出来るように必要な範囲で重複する測線を設定する。

＜CUBE 処理による場合＞

準細則に示されているように、スワス角 $\pm 55^\circ$ （全角 110° ）以内で左右スワスが 100% 以上重複するよう、また水深区分に応じたグリッドサイズにおいて 1 グリッドの当りの測深点数 5 点以上（達成率 95%以上）を満たす測深が出来るように設定する。

なお、水深区分に応じたグリッドサイズは、表 1.8-1 を参照のこと。

② 基礎工

基礎捨石工の数量や出来形を正確に把握する点群密度を確保するため、測深時に設定するスワス角は $\pm 45\sim 60^\circ$ （全角 $90\sim 120^\circ$ ）とし、数量算出では 3 点以上／1.0m 平面格子、出来形管理では 25 点以上／1.0m 平面格子で、いずれも達成率 99%以上の性能を満たせるように計画し測深することとする。

③ 海上地盤改良工

床掘土量、置換材投入量を正確に把握する点群密度を確保するため、測深時に設定するスワス角は $\pm 45\sim 60^\circ$ （全角 $90\sim 120^\circ$ ）とし、3 点以上／1.0m 平面格子（達成率 99%以上）の性能を満たせるように計画し測深することとする。

④ ブロック据付工

ブロック据付工では、対象とするブロックと距離、高さ（標高、水深）、対象物の形状、地形等、必要な計測域を考慮し、未計測が生じないように機器および測線等を設定するとともに、完成形状の把握および出来形管理が適切に実施できるデータを取得できるよう、必要な範囲で重複する測線や、往復測線を設定する。

取得点密度は、ブロック据付の完成形状を適切に把握できると考えられる 25 点以上／1.0m 平面格子とする。

【参考】

➤ 取得点密度

取得点密度は、スワス角、水深、船速、周波数、重複度合いの組み合わせで決まってくる。船速は遅いほどデータの密度を高くすることができ、測深時の船速が速すぎると

調査船の動揺で誤差が生じやすく、またデータ間隔が粗となるため、事前の測量計画時に船速上限を決めて、測深時に注意するものとする。ただし、潮流の激しい箇所、幅狭した航路、泊地等では、安全面から、むやみに船速を遅くすることはできない。このため必要な最低の船速を確保する必要がある場合、測線間隔を狭める等スワ幅の重複を考慮しつつ、必要とされる取得点密度を確保可能な測深計画を策定する必要がある。

➤ 一般海域での運用基準

（一般海域での運用基準）

- (1) 海底地形、水深を考慮し、測深作業が効率的に実施できるように計画する。
- (2) 航路、泊地、錨地、岸壁およびその付近においては、使用するナローマルチビーム測深機の有効測深幅および測量船の偏位を考慮して、未測深部分がないように計画する。この場合、有効測深線幅の 20% を重複させることが一般的である。
- (3) 岩礁、漁礁、沈船等海底障害物が存在する海域、もしくはその存在が想定される海域では、最浅部が明確に捕捉できるように隣接測線が十分に重複する測線を計画する（片側のビーム幅 100% 以上の重複率を推奨）。

「海洋調査技術マニュアル－深浅測量－（(一社)海洋調査協会）」より転載

(2) 作業手続き

① 必要な手続き

マルチビーム測深の実施に際しては、事前に、水路測量許可申請（浚渫工に係る水路測量が該当）、海上作業の許可・届出、他の関係する法令に規定する許可申請や届出を提出する。また、地方条例や各団体等によって定められた同意・承諾等を遵守してその履行に適切な対応を行う。

さらに、作業の実施にあたっては、測深海域を管轄する関係機関や関係者への作業内容、作業方法および作業工程の周知を行う必要がある。

- ・発注者
- ・管轄の管区海上保安本部
- ・管轄の警察署、消防署、労働基準監督署
- ・最寄りの緊急病院
- ・船舶備船先
- ・受注者
- ・その他必要な連絡先

② 手続きの流れ

管轄の管区海上保安部への海上作業の許可申請は、原則として着工日の 1 ヶ月前に、受注者が管轄の港長または海上保安部署等へ行う。水路業務法第 6 条の申請は、管轄の管区海上保安本部長へ行い、対象海域の管轄が 2 つ以上の管区海上保安本部にまたがる測量の場合は海上保安庁長官へ申請を行う。

この許可申請にもとづき、実施される測深作業区域、方法等の公示が行われるほか、水路通報や航行警報が発出され、測深作業について安全周知が行われる。

なお、水路測量において CUBE 処理を行う場合は、水路測量実施計画書に使用するソフ

トウェア名、バージョン等を明記し、管区海洋情報部担当者と事前に協議する。基本的にはソフトウェア等による制約はないが、ソフトの違いによる処理時の設定方法や納品時に提出するデータ内容に違いが生じる可能性があるため、事前に確認が必要である。

実際計測において解消できないノイズが多く発生する場合や、海域中に魚群が多く存在して海底面以外の記録が多く測得されるなど CUBE 処理に適さない条件となった場合には、速やかに管区海洋情報部担当者に報告して協議を行い、従来手法に切り替えることも可能である。管区担当者との協議の結果、処理手法を切り替える場合は、監督職員と対応を協議する。

1.4 計測基準

マルチビーム測深を行うにあたっては、測地系、基準面、潮位の設定を行うものとする。

【解説】

(1) 測地系

測量成果は、世界測地系により作成するものとする。

(2) 基準面

各工種で適用する基準面は、海上保安庁告知の最低水面（＝工事用基準面）とする。

なお、実施中の浚渫工、基礎工、海上地盤改良工で使用している基準面と同一基準面を適用するのが原則である。

(3) 潮位

使用する潮位データは、当該漁港における常設検潮所の有無により異なる。

なお、詳細について「水路測量業務準則施行細則」を参照すること。

① 常設検潮所がある場合

常設検潮所の観測データを潮位データとして使用することを基本とする。動作不良（故障中）など常設検潮所のデータが使用できない場合は、臨時検潮所を設置する。

② 常設検潮所が無い場合

簡易検潮器を使用した臨時検潮所を設置し、測量期間中の潮位の連続観測を行い補正值として使用する。

なお、臨時検潮所の設置にあたっては、発注者と協議し、詳細を決定するものとする。

【資料】

(2)～(3)の基準面決定簿に関連する資料の様式は、(一社)海洋調査協会ホームページ (<http://www.jamsa.or.jp>) よりダウンロードすること。

注) 手戻りを防止するため、測量計画時に管区海上保安本部海洋情報部等と調整を行うこと。

1.5 計測

1.5.1 艀装・テスト

艀装とは、測量船にマルチビーム測深機器本体および周辺機器を装備、設置することをいい、計測中に取り付け位置が動くことの無いよう強固な固定が必要である。

艀装完了後は各機器の作動確認と測量船の航走によるテスト計測を行い、各機器の正常動作を確認する。

【解説】

(1) GNSS 精度確認

測深時に使用する基準点測量、海上測位方法に関して、十分な精度を有していなければならない。

使用する GNSS については、測深実施前に精度確認を行うこと。

なお、詳細については、本要領の「別紙 3」の各工種の該当箇所を参照のこと。

(2) 機器の取り付け（オフセット）

マルチビーム測深機器本体および周辺機器の位置関係（オフセット値）を明確にし、測深中も位置関係は変化しない様に機器を取り付けるものとする。

計測したオフセット値は、本要領の「巻末資料」（資料 2）に示す様式「マルチビーム測深システム点検簿」に記載する。艀装状況に変更があった場合、必ず再計測を行う。

浚渫工において CUBE 処理を行う場合は、「水路測量業務準則施行細則」（準細則）では、オフセットの計測値の測定精度等が不確かさの要素として含まれるため、1mm 単位まで測定しておくことが求められている。

【参考】

必要とされるオフセット値の計測項目の例を示す。

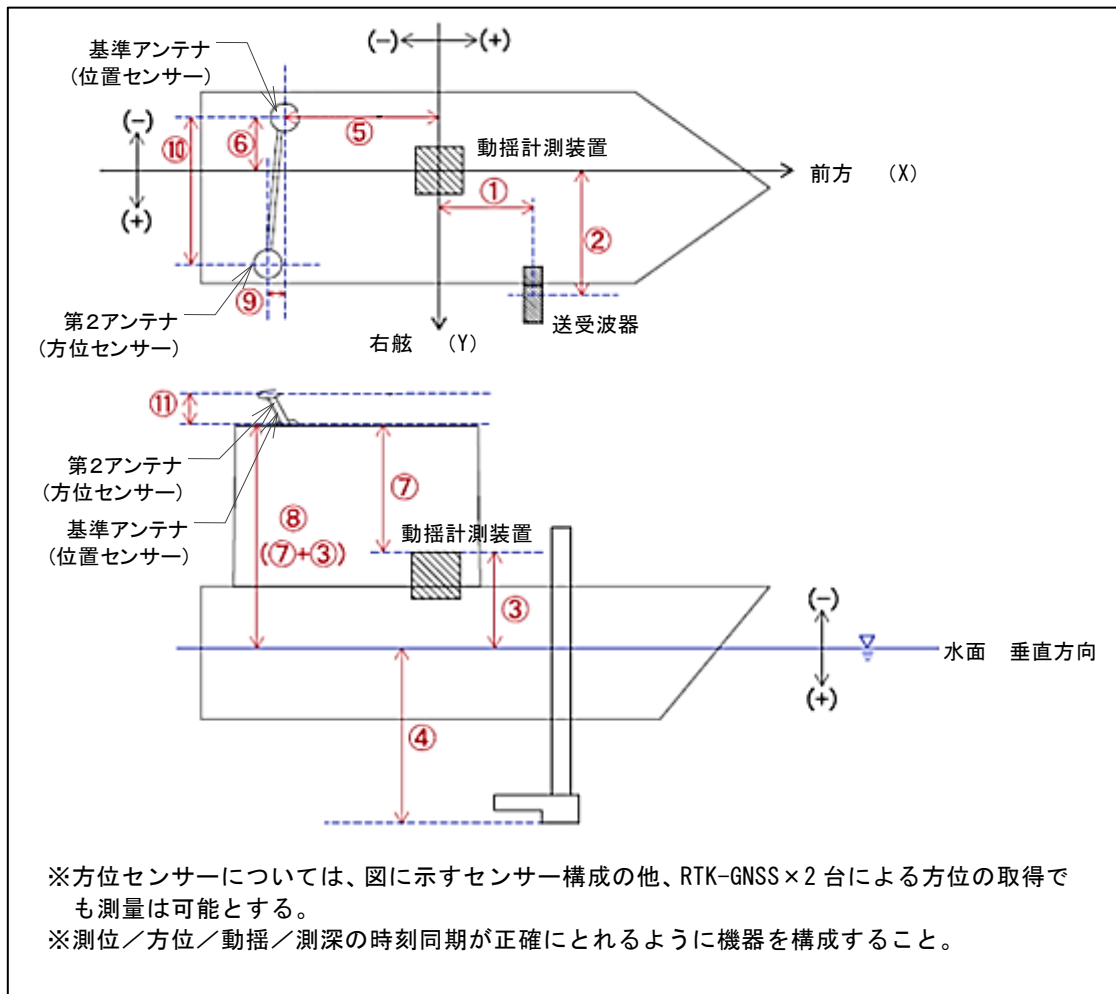


図 1.5-1 オフセット値の計測項目例

① 艀装時の留意点

各機器はロープ等で固定し、回転しないようにする。また、ケーブルの干渉にも注意する。

艀装状況に変更があった場合（緩み等があり艀装し直した場合、喫水を変えた場合、ソナーヘッドの向きを変えた場合など）は、必ず計測をやり直すものとし、その旨を本要領の「参考資料」（資料2）に示す様式「マルチビーム測深システム点検簿」等に記録する。

【参考】

- (1) 送受波器は、測量船が航行中に発生させる気泡の影響が少ない場所を選択し、水面に対して垂直に固定する（船舶の構造にもよるが、一般的には、船首または船の動揺軸（ピッチ方向）付近でかつ、船舶の喫水以下または海面より 1 m 以下に送受波器を固定することが望ましい）。
- (2) 固定するにあたっては、送受波器が振動しないように、船の前後方向および横方向（胴回し）をワイヤーなどで強固に固定しなければならない。
- (3) 動揺センサーは、船の動揺の中心付近、あるいは送受波器近くに送受波器と向きを揃えて艤装することが望ましい。
- (4) 方位センサーは、送受波器と向きを揃えて艤装する。
- (5) 位置センサー（GNSS）は、送受波器近く、天空を確保できる場所に艤装する。
- (6) 艤装を終えたら、各機器の位置関係をメジャー等で計測して記録・入力後、すぐに計測を開始できるようにする。
- (7) 送受波器の喫水は、バーチェック板またはメジャーを用いて計測する。
- (8) テストランを行い、送受波器や周辺機器にぐらつきなどが起きないか確認する。

「海洋調査技術マニュアルー深浅測量ー（（一社）海洋調査協会）」より転載

② 水平方向位置

各システムや収録ソフトウェアで規定されている位置を基準とし、相対位置は 1mm 単位まで計測する。計測結果は、収録ソフトウェアに入力すると共に、マルチビーム測深点検簿に記載しデータ処理時に適切に用いられていることを確認する。

③ 鉛直方向位置

基準は水面とし、センサー間の相対位置は 1mm 単位まで測定し、水面との関係付けはバーチェック法により 10mm 単位まで測定する。

計測結果は、収録ソフトウェアに入力すると共に、マルチビーム測深点検簿に記載しデータ処理時に適切に適用されていることを確認する。

②③の計測結果が、データ収録および処理ソフトウェアへの入力により、測深結果の補正に適用されていることを確認する。

(3) 喫水確認

① 喫水確認の方法

喫水の確認は、バーチェックにより行うものとする。水面を基準(0m)とし反射板を吊り下げ数 m で固定し、ソナーヘッドから反射板の距離をマルチビーム測深機で計測、記録する。水面を基準とした吊り下げ長から計測したソナーヘッドと反射板の距離を減じたものが喫水値となる。この作業を 3 回行いその平均値により喫水値の確認を行う。

また、標尺での計測や取り付けパイプに付した喫水目盛りを読み取るなども同時に行う。

② 喫水確認に際しての留意点

喫水の確認に使用する索は、事前に検尺を行い伸縮のないことを確認したものを使用する。また確認作業実施海域は、測深海域の近傍でできるだけ静穏な場所を選び動揺による誤差が生じないように留意する必要がある。

(4) パッチテスト

マルチビーム測深システムは、水面に対しできるだけ水平、垂直に艀装することを基本とするが、船の形状や、固定時の固定ワイヤー等の張り具合により、必ず取付け誤差が発生する。この取付け角度の誤差（以下「バイアス値」という）と各機器の収録遅延（以下「レイテンシー」という）を求めるために、パッチテストを行うこととする。パッチテストは、測深中艀装状況に変化がないことが前提であり、変化があった場合は必ず再計測を行う。

① パッチテストの種類と方法

以下に示すバイアス値とレイテンシーをパッチテストにより求めることとする。

➤ バイアス値

Roll（ロール）：船の進行方向に対して横方向の取付け角度

Pitch（ピッチ）：船の進行方向の取付け角度

Yaw（ヨー）：進行方向に対する送受波器の向き

➤ 収録遅延

Latency（レイテンシー）：遅延時間

（機器に対してデータ転送などを要求してから、返送されるまでの収録遅延）

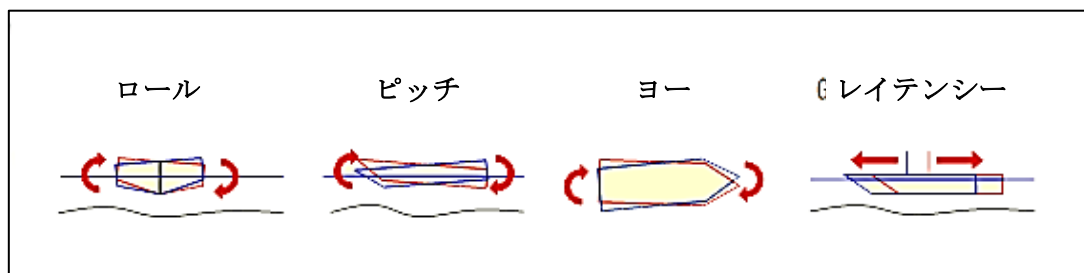


図 1.5-2 バイアス値等の種類

② パッチテストの計測条件

パッチテストは以下の条件で計測することが望ましい。

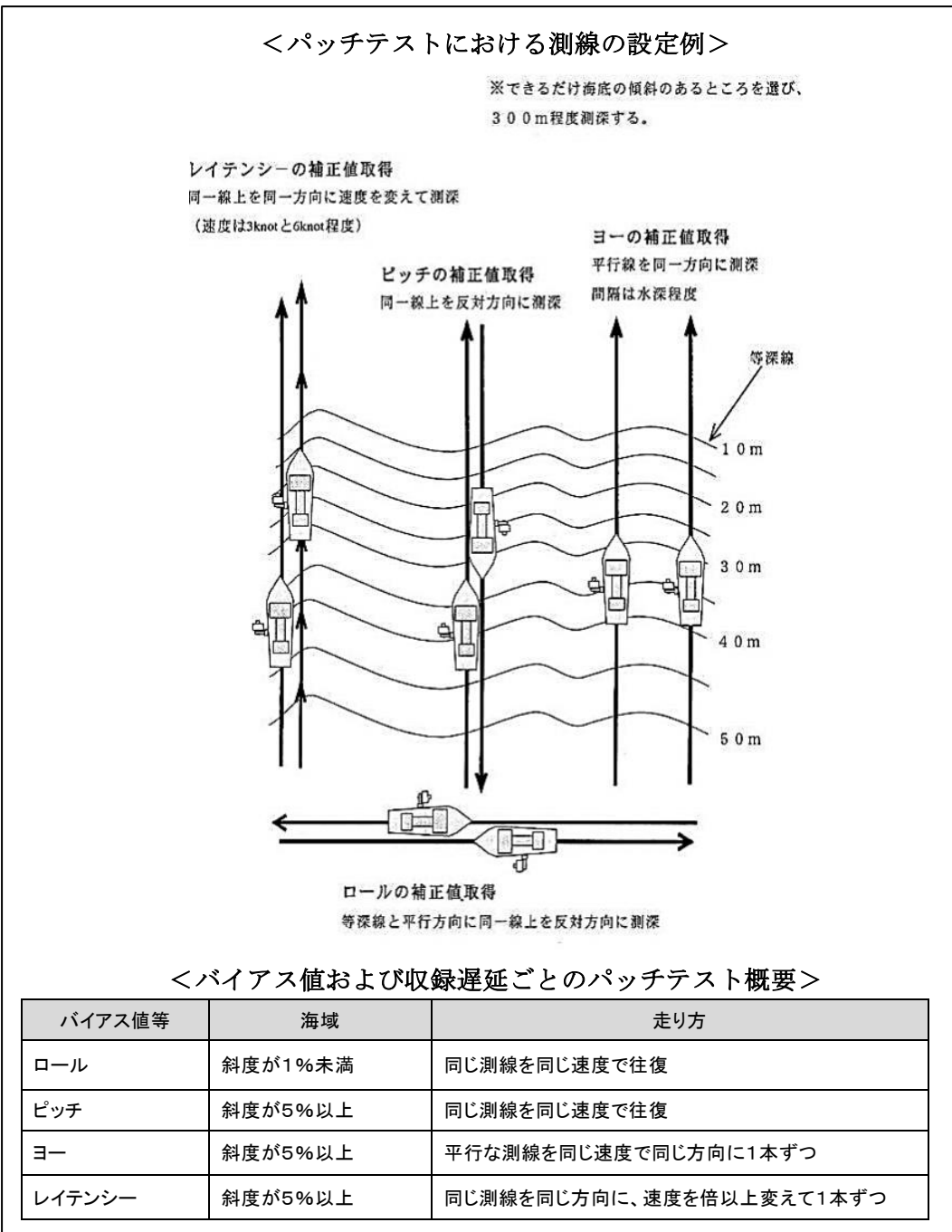


図 1.5-3 パッチテストの計測条件

【参考】

パッチテストの概要を示す。

測量船に送受波器を艀装する際に、水面に対して垂直に送受波器を取り付けることは難しく、若干の角度のズレを伴うことは避けられない。この角度のズレは、測深データに大きく影響するため、送受波器の取り付け角度を計測するパッチテストを行う必要がある。

パッチテストは平行測線、往復測線を基本とし必要に応じ交差測線などを実施する。このパッチテストにより、送受波器に対し3方向（前方(X)・右舷(Y)・下方(Z)）における取り付け角度（バイアス値と言う）および機器の収録レイテンシー（時間遅れ）を求める。

なお、パッチテストは送受波器の取り付け誤差の補正に有効な統計処理手法である。このため、パッチテストを実施する場所は、岩礁地帯など凹凸の激しい海域は避け、砂浜や港内等の安定したデータが取得できる場所が望ましい。

また、パッチテストは、周辺機器と送受波器の位置関係が変化していないことが前提である。そのため、作業中に、送受波器の固定ワイヤーを再度締めたり、ソナーに流木などが当たったりした場合などの僅かなズレが誤差要因となるため、毎日パッチテストを行わなければならない。船体装備型（設置型）の場合は、この限りではない。

「海洋調査技術マニュアルー深浅測量ー（（一社）海洋調査協会）」より転載

1.5.2 水深測量

水深測量とは、測量船に艀装したマルチビームを用いた測深のことをいい、次工程の作業に必要な3次元データの作成を含むものとする。

測深の計測基準面は、海上保安庁告知の最低水面を原則とする。

位置座標の測地系は、世界測地系を使用するものとする。

【解説】

(1) 水中音速度測定

① 水中音速度測定の方法

水中音速度の測定は、水中音速度計による測定を基本とする。

測定位置については、測量海域の中央付近で可能な限り深い地点とし、海況が変化する海域では適切に測定点を配置することが望ましい。なお、測定は一日作業で1回以上行うものとし、計測位置の記録も同時に残しておくこと。

収録結果は、本要領の「参考資料」（資料2）に示す様式「音速度測定簿」に取りまとめる。

この方法で計測できない場合は、事前に協議の上、緯度、圧力、水温、塩分から計算により音速度を算出し使用することもできる。

② 測定値の入力

水中音速度計の降下時と引上げ時の測定結果から、最低1m毎の平均値に取りまとめ、その結果を収録、解析ソフトウェアで使用する形式で作成する。作成した水中音速度データを解析ソフトに取り込み適用する。

(2) 測深

① 各種調整

収録ソフトウェアで測地系の設定、周辺機器の接続設定を行い、測線計画の取り込み、データ測深確認用の塗りつぶし範囲（測深データがあることを表示する格子の集合体のことで、マトリックスと呼ぶ）を作成、取り込みをする。マトリックスを作成する際のセルサイズ（塗りつぶすひとつの格子サイズ）は、海域水深の $1/10 \sim 1/20$ が適当である。セルサイズを大きくしすぎるとリアルタイムでの未測深域確認ができなくなり、小さすぎると収録用 PC に必要以上の負荷が掛かる。

GNSS や動揺計測装置などの周辺機器について機器ごとの各調整を行い、収録用 PC にデータが正常に送られていることを確認する。

各周辺機器の接続設定や状況については、マルチビーム測深システム点検簿に記入する。

② 測深の方法

マルチビーム測深機による測深データや、GNSS による海上測位データ、動揺計測装置による動揺データは、互いに時間的な同期をとり、収録用ソフトウェアにより PC に保存する。

測深中計測者は、マルチビーム測深機が、良好な記録（海底地形を的確に捉えることができる記録）を得るために、使用する周波数、スワス角の設定、信号の波幅、出力、入力と出力の差、ふるい分けの設定 (Gain Filter Gate)、データ返答率 (Ping Rate) 等を適宜調整する。なお、スワス角の設定は、格子間隔内のデータ数に影響するので注意が必要である。

(3) データ記録

マルチビーム測深機による測深データや、GNSS による海上測位データ、動揺計測装置による動揺データは、互いに時間的な同期を取り収録用ソフトウェアにより PC に保存する。データの収録開始、終了は余裕を持って行うようにする。収録時には、測深状況（ノイズの出方や欠落）、測位状況、予定測線からの変位量、動揺データの状況（ドリフト時などのエラー状況）を常に監視し、異常が見受けられた場合には補再測を行う。

また、収録ファイル名、航走方向、周辺海域の状況や、魚群などのエラーデータ、特徴的な事項などの記録を工事帳や測量野帳等の摘要欄に記載する。

(4) 再測深

測深データの測深範囲を確認し、未測深箇所等が確認された場合や、測深データノイズ等エラーデータが多く含まれる場合は、再測深を実施する。

① 再測深の条件

マルチビーム測深は未測深域が無いことが基本であることから、未測深域が確認された場合、再測深を行う。

音響的、電氣的ノイズが多い場合や、水中浮遊物、魚群などにより、海底面を的確に捉えることができていない場合、動揺計測装置による動揺の計測値に異常が見られた場合、海上測位データに位置飛びなどの異常が確認された場合は、直線補間が可能であれば補間するものとし、1 秒以上連続して異常な場合で、直線補間ができない場合は再測深を行う。

海底面上に突起状の記録が現れた場合は、隣接測線の同一位置での記録の確認を行い、明らかなノイズと判断出来なかった場合には、突起状の記録が現れた箇所の直上に測線を設けて再測深を行う。

また、収録データの確認時、容量が極端に少ない等の異常が見られた場合は、収録がされていないデータがあることが予測されるので、速やかにデータ再生を行い不適切であった場合、当該測線について再測深を行う。

測深中に再測深が必要と認められた場合、その理由と状況を測深簿に記入しておく。

② 再測深の方法

収録データの確認において、再測深が必要と判断された箇所について、収録ソフトウェア上で再測深範囲を十分カバーできるよう測線計画を作成し再測深を行う。再測深後は速やかにデータ再生を行い良好なデータが記録できていることを確認する。

1.6 計測における留意点

水深測量にあたり、留意すべき事項を以下に示す。

【解説】

(1) 測深時

① 共通事項

- ・測深作業中は、エラーの要因となる急旋回、急加速、急減速を控え、一定速度を維持するように航走する。
- ・測深オペレータは、PC のリアルタイム画面を見て、S/N 比の良いデータを取得するように送受信信号および TVG 等の各種機能を調整する。
- ・直下ビームを半径とする円弧上に点列がでないようにする（「トンネル効果現象」（図 1.7-1 参照））。
- ・海底付近の魚群や海草による測深漏れを防ぐため、測量海域に関する情報（魚礁や生け簀の近傍、底質状況等の関連）を事前に把握するように努め、測深中に PC ディスプレイのスワス断面を確認し、海底地形を的確に捉えているかを検証する。
- ・岩礁等の最浅部捕捉状況を確認した上で、補再測を検討する。なお、浅所確認は極低速で 2 回実施する。
- ・測深は、海上ができる限り平穏なときに実施するものとし、波浪のある場所をさけるものとする。

② ブロック据付工

i) 測線方向および船速

防波堤等の構造物計測時の測線方向は、構造物と平行を基本とする。また、取得する 3 次元点群データの密度を高めるため、船速を極力低速にし、進行方向のデータギャップを小さくする。ただし、安全が確保出来る範囲の船速は保持する。

ii) 構造物への音響ビームの集約

可能な限り、水面付近までの構造物の形状を把握するため、スワス方向・角度の可変が可能なマルチビーム機種は、構造物へビームを集約し、高密度な 3 次元点群データを取得する。測深イメージを図 1.6-1 に示す。

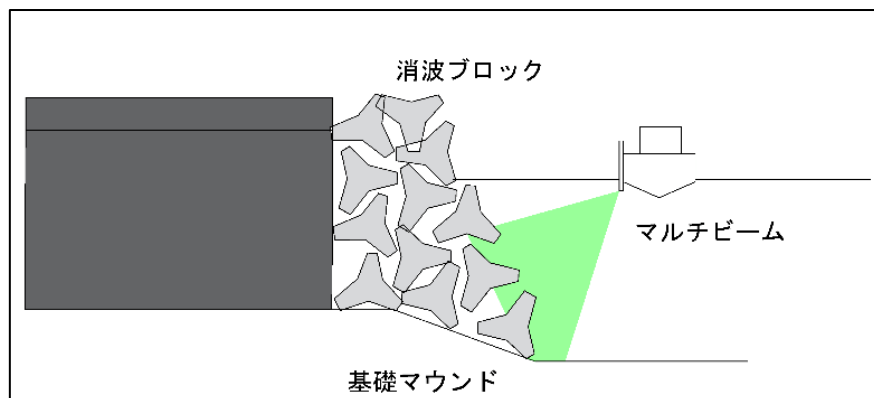


図 1.6-1 スワス方向・角度を調整した測深（イメージ）

iii) 水際部（水上部と水中部の境目）での計測方法

水中部のマルチビーム測深は満潮時に実施し、水上部の UAV を用いた計測は干潮時に実施する等、潮位差を利用して、可能な限り水際部の計測範囲を重複させ、シームレスに取得データを結合できるようにする。

また、マルチビーム測深と UAV を用いた計測で得られる 3 次元点群データ密度に差があることから、マルチビーム測深においては、測深時の船速を極力低速にして進行方向のデータギャップを小さくさせることや、構造物へビームを集約して高密度なデータを取得するよう、留意する必要がある。

(2) データ記録

時間的同期が取れていないと、補正が的確に行われず正しいデータを作成することができないため、時刻同期が行われていることを必ず確認する。

収録用ソフトウェアにより保存された測深データは、そのファイル数、測線毎の比較を行い測深時間とデータ容量の関係が各測線同士の比較より妥当であるかを検証する。収録データはバックアップを取っておくことが望ましい。

1.7 計測性能・精度管理

マルチビームの測深結果を検定するために、音響ビームの重複部のデータによる比較や、照査線（各測深線と交差する測深線）を計画し交差するデータとの比較検証を行い、規定の精度を確認するものとする。

【解説】

(1) 検測、精度管理

測深データを出来形管理に用いるにあたっては、測深データが適切でなければならない。そのため、検測により収録データの検証を行い、規程の精度を満たすことを確認すること。詳細については、本要領の「別紙3」の各工種の該当箇所を参照のこと。

(2) 主な測深エラーの原因と水深編集時の留意点

各種補正データが正しく作成、適用できていることも重要であるが、マルチビーム測深における特徴的な誤差要因である次のような現象が発生していないことを特に注意する必要がある。

【参考】

マルチビーム測深における誤差要因となる特徴的な現象について以下に示す。

<トンネル効果現象>

平坦な海底地形での測深データで、送受波器直下の強反射エコーが両端部付近のエコーに入り込み、誤って浅い海底と認識してしまう現象。

対処方法としては、スワス幅を狭め、弱反射エコーとなる範囲を減少させる他、水中音速度測定回数を増やして正しい音速度構造を取得し、解析する等があげられる。

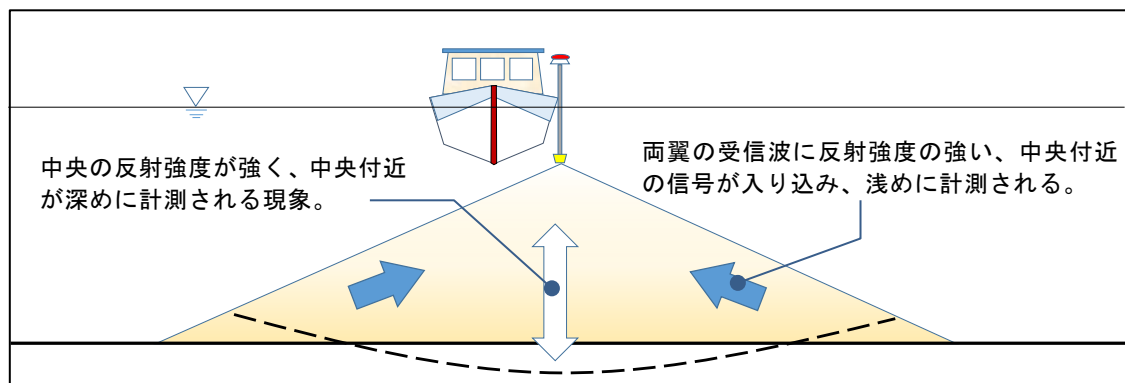


図 1.7-1 トンネル効果現象エラーイメージ

<スマイルカーブ現象>

平坦な海底において両端のビームが弱反射エコーとなり、計測しているスリットの重心が内側にズレることによって浅く計測される場合か、水中音速度測定結果が正しくない場合に発生する現象。

対処方法としては、スワス幅を狭め、弱反射エコーとなる範囲を減少させる他、水中音速度測定回数を増やして正しい音速度構造を取得し、解析する等があげられる。

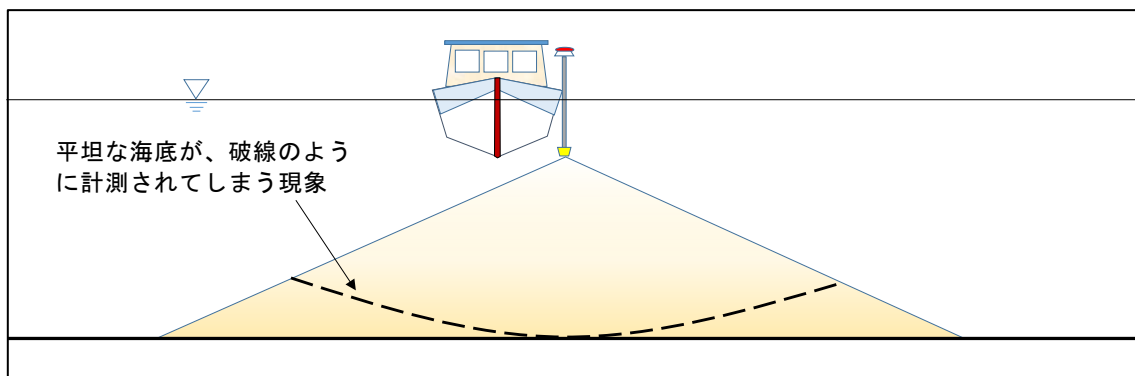


図 1.7-2 スマイルカーブ現象エラーイメージ

- ▶ トンネル効果現象によるエラーとスマイルカーブ現象によるエラーは、ともに平坦な地形が円弧状に計測されてしまう現象であり、現場ではどちらの原因か判定が難しい。このような症状が出た場合は、再測することが望ましい。

<クロストーク現象>

岸壁や防波堤などの漁港構造物の基部にあたるL字部分において、乱反射によるデータが発生し、L字部分が浅く計測される現象。対処方法としては、船速を下げ、送信出力を抑えることで、ある程度抑制することができる。

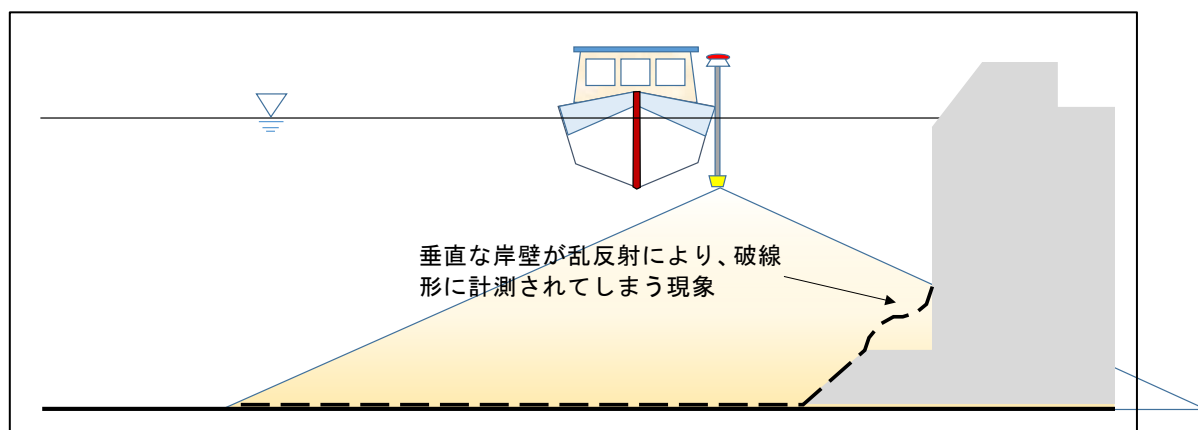


図 1.7-3 クロストーク現象エラーイメージ

<キャタピラ現象>

ロール・ピッチ・ヨー・ヒープの各動揺成分の補正が正しく行われないことによって、ビームがショット毎に上下左右へとぶれて、平坦な海底地形がキャタピラのような凹凸を繰り返した様な地形となる現象のこと。この現象は、測深作業中には確認が困難なため、あらかじめ動揺センサーの各種フィルター設定を正しく行うことが重要である。

また、動揺センサーの性能を過信せず、海象条件が悪化している場合は、速やかに作業を中止することを推奨する。また、データを解析し、キャタピラ現象が発生していないかを確認し、動揺成分の補正值の調整で解決できるものかを判断する。解決できない場合は、再測する。

平坦な海底が、右図のようにキャタピラ跡状
の凹凸地形として計測されてしまう現象

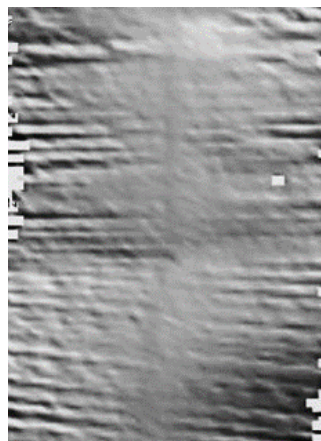


図 1.7-4 キャタピラ現象エラーイメージ

1.8 データ解析

水中音速度計測結果、潮位観測結果を適用し補正を行った後、電氣的ノイズや水中浮遊物、魚群等のエラーデータを除去した上で、海底地形を適切に表現した点群データを作成するものとする。AI フィルタを使用してデータ処理を行った場合でも、最終的には人の目により削除した点群も含めて全点群データの確認を行う必要がある。

【解説】

(1) ノイズ除去処理

ノイズには音響的、電氣的なもの他、浮遊物、魚群、泡など海中を浮遊する物体などがある。ノイズの除去は、解析ソフトにより統計的・予測的にある程度削除することができるが、統計的な処理や機械学習によるデータ処理では限界があるため、最終的にはプロファイル表示し手作業による復元または除去作業を行う必要がある。判断に迷う記録については画像等を残し他測線の記録などから総合的に判断する。

(2) 3次元データ解析時の留意点

各種補正データが正しく作成できている事が重要であるとともに、マルチビーム測深における特徴的な誤差要因である現象が発生していないことを特に注意して確認する必要がある。

また、ノイズ除去によりデータ数が減少しても、必要データ数が確保されている事が必要である。

1.8.1 浚渫工

(1) CUBE 処理によらない場合

① 正データを用いた中央値・最浅値の作成

測線毎に、補正とノイズ処理を行った測深結果を対象海域全体で取りまとめ水平位置と水深を記録した点群データとして保存する。

点群データは、土量計算および出来形管理に供するに十分な密度であること等を確認した後、1 点/1.0m 平面格子の点群データを作成する。

取得点密度および点群データ作成の留意点について以下に示す。

- 測深海域の全域に 1.0m 平面格子をかけ、その総平面格子数の 99%以上の平面格子において 3 点以上の取得点密度が担保されていること（達成率 99%以上）。
- 海象条件や特殊な地形などの諸条件により、取得点密度を満たすことができなかった場合は、監督職員と対応を協議する。
- 1.0m 平面格子内において中央値または最浅値を抽出し、1 点/1.0m 平面格子の点群データを作成する。なお、中央値または最浅値の抽出が困難な 3 点未満の平面格子については、周囲の抽出点データから空間解析等により補間できるものとする。
 - ・土量計算に使用する場合：中央値
 - ・出来形管理に使用する場合：最浅値

なお、浚渫箇所が点在したり、サンドウェーブによる影響等により海底地形の変化が頻繁に生じているような特殊な海域の場合には、特記仕様書により抽出方法を指示することができる。

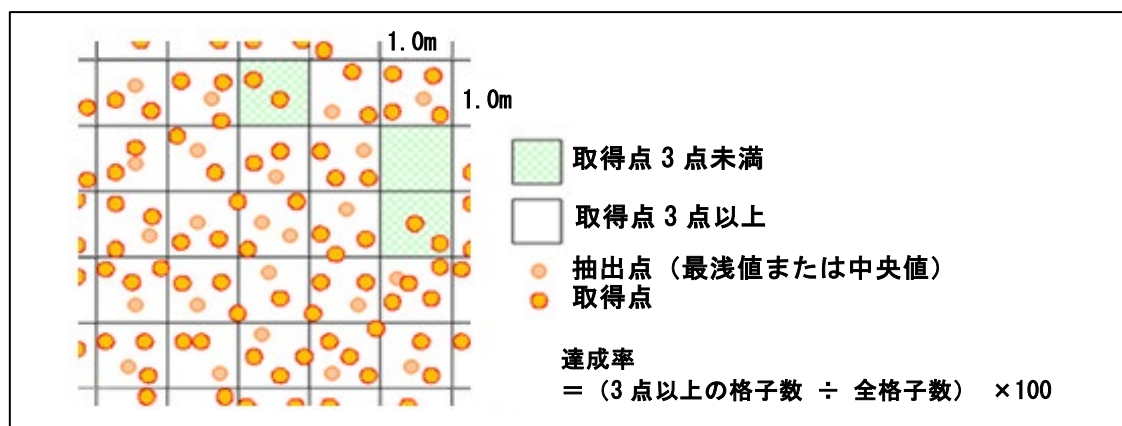


図 1.8-1 データ密度の考え方（浚渫工）

(2) CUBE 処理による場合

① CUBE 処理の条件

CUBE 処理を行う場合には、以下の条件をすべて満たす必要がある。

- ・マルチビーム音響測深機により取得した測深データであること。
- ・スワス角 $\pm 55^{\circ}$ （全角 110° ）以内で、左右スワスが100%以上重複した測深データであること。
- ・海上位置測量には、原則としてネットワーク型 RTK 法または後処理キネマティック法若しくは同等以上の測定精度の手法を用いていること。
- ・送受波器の各種バイアス値が0.01 度位まで求められていること。

② CUBE 水深の計算

i) 必要情報

CUBE 水深は、以下の情報および各情報の計測精度を用いて計算する。

- ・測位記録
- ・測深記録
- ・動揺センサーの記録
- ・表面音速度の記録
- ・水中音速度の記録
- ・喫水量
- ・測位装置、測深機および動揺センサーのオフセット計測値
- ・送受波器の各種バイアス値
- ・験潮記録

ii) グリッドサイズ

CUBE 水深のグリッドサイズは、水深 30m 以浅の浚渫工の場合、表 1.8-1 に示す水深区分に応じたグリッドサイズとし、水深の区分が複数に渡る場合には、測深区域の水深に応じて決定する。ただし、CUBE 処理の効率化と CUBE 水深の精度向上のために、浅い水深区分のグリッドサイズを用いることができる。

表 1.8-1 CUBE 水深のグリッドサイズ

水深区分	グリッドサイズ
0～10m	0.25m
10～20m	0.5m
20～30m	1.0m

iii) 取得点密度

表 1.8-1 に示す水深区分による 1 グリッドの CUBE 水深の算出に用いる測深点数は 5 点以上（達成率 95%以上）とする。

iv) キャプチャー範囲

CUBE 水深は、設定したグリッドの中心点からどの程度離れたデータまでを採用するかによって計算結果が変化するため、算出においては、各グリッドの中心点からの距離が原則としてグリッドサイズの $1/\sqrt{2}$ 倍の範囲に含まれる測深点を使用する。

v) CUBE 水深（正データ）

設定した測深点について、入力する機器の誤差、精度、条件などの「不確かさ (Uncertainty)」を用いて、解析ソフトにより CUBE 水深を計算する。

CUBE 水深（正データ）は、1 グリッドに 1 点とし、1 グリッドに 1 点得られた CUBE 水深を使用して、出来形管理を行う。

vi) 曖昧さの除去

CUBE 水深を決定する過程において複数の仮説水深が得られた場合には、曖昧さを除去するための条件を設定する必要がある。曖昧さを除去するための自動選択手法としては、(1) Density（測点密度が最も高かった水深を採用）、(2) Locale（周辺のグリッドとの関連性が最も高かった水深を採用）、(3) Density & Locale（(1)と(2)を組み合わせて総合的に評価した水深を採用）の 3 種類がある。特に明確な要因がなければ、(3) を使用する。

【解説】

CUBE 水深の計算に用いられる「不確かさ (Uncertainty)」とは、各測深点の精度評価の指標である「総伝播不確かさ (TPU : Total Propagated Uncertainty)」のことである。TPU は測深誤差の期待値の推定量で、ソナー等機器類の測深精度や潮位の観測精度等、様々な誤差要因が考慮された「鉛直成分 σ_v (TVU)」、「水平成分 σ_h (THU)」から構成され、CUBE 水深は、以下の式で TPU からあるグリッドに対する各測深点数の伝播不確かさを求めることで計算される。

$$\sigma_p^2 = \sigma_v^2 \left(1 + \left[\frac{\text{dist} + \text{hes} * \sigma_h^2}{\text{node_spacing}} \right]^{\text{de}} \right)$$

(式-1)

σ_p : あるグリッドに対する各測深点の伝播不確かさ

σ_v : 総伝播不確かさ鉛直成分 (TVU)

σ_h : 総伝播不確かさ水平成分 (THU)

dist : グリッド格子点から各測深点の距離 (m)

hes (horizontal error scalar) : パラメータ

de (distance exponent) : パラメータ

node_spacing : グリッドサイズ (m)

上記計算式におけるパラメータ「hes (horizontal error scalar)」、「de (distance exponent)」は、それぞれ処理時に設定することが可能である。CUBE アルゴリズムで当初用いられるデフォルト値は hes=2.95 (99%信頼区間)、de=2.0 となっている。ただし、米国 NOAA では、異物の浅所トップが CUBE 仮説として捉えられるように、hes=1.96 (95%信頼区間) を採用している。準細則では特に規定はないが、異物を逃さず判断するために米国 NOAA の設定値が指針となっている。

③ CUBE 水深の点検

CUBE 処理により得られた CUBE 水深が適切に作成されているかを確認するため、以下の点検を行う。点検結果は帳票にとりまとめて記載する。

- ・測深記録に、喫水改正、オフセット補正、潮高改正、表面音速度改正および水中音速度改正が適切に行われていること。
- ・測深記録に、測位、方位および動揺データの適用が適切に行われていること。
- ・系統誤差が生じていないこと（作成された CUBE 水深を 3 次元表示して確認）。
- ・上記点検を行った上で、CUBE 水深にノイズが残っていた場合には、測深記録のノイズ削除を行い、CUBE 水深を更新作成する。CUBE 水深に影響を与えないノイズについては、ノイズ削除の作業を省略することができる。

1.8.2 基礎工

(1) 正データを用いた中央値の作成

測線毎に、補正とノイズ処理を行った測深結果を対象海域全体で取りまとめ水平位置と水深を記録した点群データとして保存する。

点群データは、数量計算および出来形管理に供するに十分な密度であること等を確認した後、1 点／1.0m 平面格子の点群データを作成する。

取得点密度および点群データ作成の留意点について以下に示す。

- 捨石投入の数量計算においては、測深海域の全域に 1.0m 平面格子をかけ、その総平面格子数の 99%以上の平面格子において 3 点以上の取得点密度が担保されていること（達成率 99%以上）。
- 捨石本均し、捨石荒均しの出来形管理においては、測深海域の全域に 1.0m 平面格子をかけ、その総平面格子数の 99%以上の平面格子において 25 点以上の取得点密度が担保されていること（達成率 99%以上）。
- 海象条件や特殊な地形などの諸条件により、取得点密度を満たすことができなかった場合は、監督職員と対応を協議する。
- 1.0m 平面格子内において中央値を抽出し、1 点／1.0m 平面格子の点群データを作成する。なお、点群データの抽出が困難（3 点未満）の平面格子については、周囲の抽出点データから空間解析等により補間できるものとする。

なお、施工箇所が点在したり、サンドウェーブによる影響等により海底地形の変化が頻繁に生じているような特殊な海域の場合には、特記仕様書により抽出方法を指示することができる。

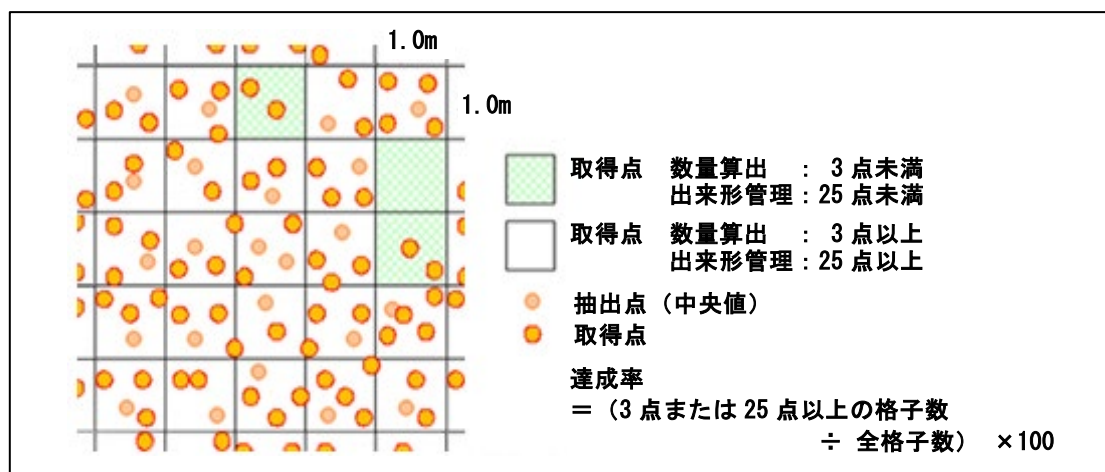


図 1.8-2 データ密度の考え方（基礎工）

1.8.3 海上地盤改良工

(1) 正データを用いた中央値の作成

測線毎に、補正とノイズ処理を行った測深結果を対象海域全体で取りまとめ水平位置と水深を記録した点群データとして保存する。

点群データは、数量計算および出来形管理に供するに十分な密度であること等を確認した後、1点/1.0m平面格子の点群データを作成する。

取得点密度および点群データ作成の留意点について以下に示す。

- 測量海域の全域に1.0m平面格子をかけ、その総平面格子数の99%以上の平面格子において3点以上の取得点密度が担保されていること（達成率99%以上）。
- 海象条件や特殊な地形などの諸条件により、取得点密度を満たすことができなかった場合は、監督職員と対応を協議する。
- 1.0m平面格子内において中央値を抽出し、1点/1.0m平面格子の点群データを作成する。なお、中央値の抽出が困難な3点未満の平面格子については、周囲の抽出点データから空間解析等により補間できるものとする。
 - ・数量計算に使用する場合 : 中央値
 - ・出来形管理に使用する場合 : 中央値

なお、施工箇所が点在したり、サンドウェーブによる影響等により海底地形の変化が頻繁に生じているような特殊な海域の場合には、特記仕様書により抽出方法を指示することができる。

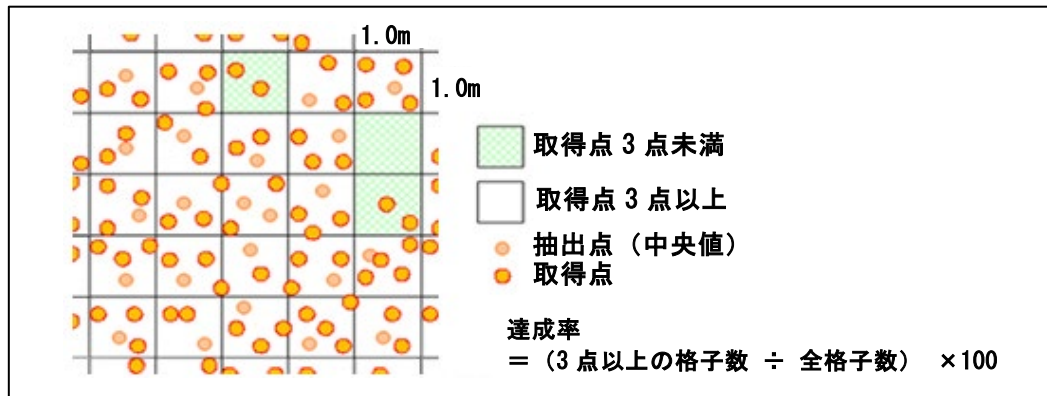


図 1.8-3 データ密度の考え方（海上地盤改良工）

1.8.4 ブロック据付工

(1) 正データの作成

ブロック据付の完成状況の把握には、マルチビーム測深における全取得データを使用する。

現状の地形計測時には測線毎に、補正とノイズ処理を行った計測結果を対象区域全体でとりまとめ水平位置と高さを記録した 3 次元点群データとして保存する。

3 次元点群データは、ブロック据付工に供するに十分な密度であることを確認する。

取得点密度確認の留意点について以下に示す。

- 「ブロック据付の完成形状の把握」を目的とする場合については、計測対象の全域に 1.0m 平面格子をかけ、その総平面格子数において 25 点以上の取得点密度が担保されていること。
- 起工測量として海底地盤（捨石マウンド等）の測量を行う場合は、測深海域の全域に 1.0m 平面格子をかけ、その総平面格子数の 99%以上の平面格子において 3 点以上の取得点密度が担保されていること（達成率 99%以上）。1.0m 平面格子内において中央値を抽出し、1 点/1.0m 平面格子の点群データを作成する。なお、点群データの抽出が困難（3 点未満）の平面格子については、周囲の抽出点データから空間解析等により補間できるものとする。
- 海象条件や特殊な地形などの諸条件により、取得点密度を満たすことができなかった場合は、監督職員と対応を協議する。
- 縦断図、横断図により凹凸等の形状を面的に把握するのに支障がない場合は、監督職員と対応を協議したうえで管理図面とする。

1.9 データ管理

マルチビームを用いた測深データは、測線毎に補正とノイズ処理を行った深浅測量結果を対象海域全体で取りまとめ、水平位置と水深を記録した点群データとして保存する。正データ（3次元点群データ）のほか、水中音速度や潮位などの各種補正データ、オフセット値、パッチテスト結果などを取りまとめ保存するものとする。

【解説】

(1) 浚渫工でのデータの保存

正データ（3次元点群データ）のほか、水中音速度や潮位などの各種補正データ、オフセット値、パッチテスト結果などを取りまとめ、保存するものとする。

浚渫工において CUBE 処理を用いた場合には、CUBE 水深から「緯度、経度、水深、不確かさ（Uncertainty）、測深点密度（Density）」の 5 要素を出力した水深ファイルを作成して保存する。水深の区分が複数にわたる場合には、それぞれの水深の区分について水深ファイルを作成する。

(2) データの変換

正データ（3次元点群データ）は、出来形管理および数量算出で一般的に使用されるソフトウェアで読み込み可能な形式と想定される平面位置（ x, y ）と、基準面からの深さ（ z ）を記録したスペース区切り、あるいはカンマ区切りのテキスト形式で保存するものとする。

この際の保存するデータは、世界測地系で、データの並び順は、数学座標の x, y （測量座標の y, x ）, z とし、 z は C.D.L= ± 0 を基準として、水面下はマイナス、水面上はプラス表記とする。

【留意点】

マルチビームで計測したデータ x, y, z の取扱いについて、留意点を以下に示す。

<平面位置 x, y >

日本国内の測量で使用される測量座標は、 x 軸を縦軸、 y 軸を横軸としている。

CAD 等で扱う縦軸が y 軸、横軸が x 軸の数学座標とは異なるため注意が必要である。

<深さ z >

深浅測量で扱う水深値 z には、 \pm （プラスマイナス）を示す符号は付記されない。

3次元設計モデルに使用する際は、 z に－（マイナス）符号を加える必要がある。

第2章 UAV

2.1 適用工種等

UAV を用いた計測の適用工種等は以下とする。

- ・ブロック据付工（水上部）

また、UAV を用いた計測とは、以下のことをいう。

- ・UAV 写真測量 ・UAV レーザー計測

【解説】

(1) 適用工種、適用範囲

UAV を用いた計測の適用工種、適用範囲は以下のとおりとする。

表 2.1-1 適用工種、適用範囲

適用工種		適用範囲	その他の活用
ブロック据付工	消波ブロック据付	完成形状の把握	－
		出来形計測	漁港漁場施設の維持管理に係る点検（定期点検） 災害対応

(2) 適用範囲と本要領の利用上の注意点

① 使用する機器

使用する機器は、ブロック据付後の維持管理において完成形状を把握するデータを適切に取得できる性能を保有する機器、消波ブロック据付については水上部の出来形管理を適切に取得できる性能を有する機器とする。

ただし、計測データを設計図書等として使用する場合など、他の目的、規定により本要領に拠らない場合は、それぞれ精度・性能を満たすよう特記仕様書に示すことにより変更することができる。

② UAV を用いた計測に関する他の基準類との関係

UAV を用いた計測について、本要領に記載のない内容については、国土交通省国土地理院の「作業規程の準則」、「UAV 搭載型レーザースキャナを用いた公共測量マニュアル（案）」に従うものとする。

また、漁港漁場施設の維持管理に係る点検（定期点検）に関しては、「水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン」に示す調査項目、老朽化度の評価基準のうち、「移動、散乱、沈下」に係る項目に準ずるものとする（表 2.1-2）。

表 2.1-2 消波工の老朽化度評価基準

対象施設	調査項目	調査方法	老朽化度の評価基準	
重力式防波堤（消波堤）	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（1スパン）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	老朽化なし。
	損傷、亀裂	目視 ・消波ブロックの損傷、亀裂 ・欠損ブロックの個数	a	欠損しているブロックが1/4以上ある。
			b	aとcの中間的な変状がある。
			c	欠損や部分的な変状があるブロックが複数個ある。
			d	老朽化なし。

「水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン」より引用

2.2 作業工程

UAV を用いた計測の工程別作業区分および順序は、次のとおりとする。

- (1) 計測計画・準備
- (2) 機器の装備・設置およびテスト
- (3) 計測基準
- (4) 計測・撮影
- (5) 検測・精度管理
- (6) データ解析
- (7) データ管理

【解説】

工程別作業区分(1)～(7) については、以降の「2.3 」～「2.9 」に示す。

2.3 計測計画・準備

計測実施者は、作業の着手前に作業方法、使用する主要な機器、要員、日程等について適切な計測計画を立案し、これを発注者に提出する。

計測計画を変更しようとする場合も同様とする。

資料収集、現地調査が必要であれば行い、計測の精度を高めるよう準備する。

【解説】

(1) 計測計画

対象とするブロックの計測計画は、対象物との距離、高さ（標高）、対象物の形状、地形等、必要な計測域を考慮し、未計測が生じないように機器および測線等を設定するとともに、完成形状の把握および出来形管理が適切に実施できるデータを取得できるよう、必要な範囲で重複する測線や、往復測線を設定する。

(2) 作業手続き

計測に際しては、それぞれ事前に工事の許可・届出、他の関係する法令に規定する許可や届出を提出する際に、計測内容で特記すべき事項を併せて提出する。また、地方条例や各団体等によって定められた同意・承諾等を遵守して、その履行に適切な対応を行う。

さらに、作業の実施にあたっては、区域を管轄する関係機関や関係者への作業内容、作業方法および作業工程の周知を行う必要がある。

2.4 計測基準

ICT 機器を用いた計測を行うにあたっては、測地系、基準面の設定を行うものとする。

【解説】

(1) 測地系

測量成果は、世界測地系により作成するものとする。

(2) 基準面

適用する基準面は、海上保安庁告知の最低水面（＝工事用基準面）とする。

なお、実施中のブロック据付工で使用している基準面と同一基準面を適用するのが原則である。

2.5 機器の装備・設置およびテスト

ICT 計測機器本体および周辺機器の装備・設置は、計測中に支障が生じないように確実にを行う必要がある。

装備・設置完了後は各機器の作動確認とテスト計測を行い、各機器の正常動作を確認する。

【解説】

(1) GNSS 精度確認

使用する GNSS 機器は、測量時に計測機器の測位のため使用する基準点測量、測位方法に関して、十分な精度を有していなければならない。

(2) 機器の取り付け

UAV に計測機器を取り付ける場合は、機器本体および周辺機器の位置関係を明確にし、計測中も位置関係は変化しない様に機器を取り付けるものとし、取り付け状況に変更があった場合、必ず再計測を行う。

2.6 計測・撮影

ブロック据付の完成形状の把握を目的とする場合については、完成形状が適切に把握できるデータの取得を目的に UAV を用いた計測を実施する。

また、消波ブロック据付の出来形計測を目的とする場合には、出来形管理が適切に実施できるデータの取得を目的に UAV を用いた計測を実施する。

【解説】

(1) ブロック据付の完成形状の把握

「ブロック据付の完成形状の把握」を目的とする場合の精度管理は、「作業規程の準則」、「UAV 搭載型レーザースキャナを用いた公共測量マニュアル（案）」を参照して決定すること。

なお、取得点密度は、ブロック据付の完成形状を適切に把握できると考えられる「25 点以上/1.0m 平面格子」とする。

なお、水際部（水上部と水中部の境目）において、海象条件等により上記の取得点密度の確保が困難な場合には、監督職員と対応を協議する。

(2) 消波ブロック据付の出来形管理

「消波ブロック据付（水上部）の出来形管理」を目的とする場合の精度管理は、「作業規程の準則」、「UAV 搭載型レーザースキャナを用いた公共測量マニュアル（案）」に従うものとする。

なお、UAV 写真測量における地上画素寸法、UAV レーザー計測における取得点密度は、表 2.6-1～表 2.6-2 に示すとおりとする。

① UAV 写真測量

UAV 写真測量を行う場合の位置精度は、「作業規程の準則」にもとづき表 2.6-1 のとおりとし、位置精度 0.05m 以内、地上画素寸法 0.01m 以内を標準とする。標準以外の位置精度等を採用する場合は、監督職員と協議を行い決定する。

取得点密度は、表 2.6-2 に示す UAV レーザー計測の要求点密度と同等の「100 点/m² 以上」とするが、これにより難しい場合には、監督職員と協議を行い決定する。

表 2.6-1 位置精度と地上画素寸法

位置精度	地上画素寸法	備考
0.05m 以内	0.01m 以内	標準とする
0.10m 以内	0.02m 以内	
0.20m 以内	0.03m 以内	

作業規程の準則 第 4 編 地形測量および写真測量（三次元点群測量） 第 3 章 UAV 写真点群測量

② UAV レーザー計測

UAV レーザー計測を行う場合の点密度と位置精度は、「UAV 搭載型レーザースキャナを用いた公共測量マニュアル（案）」にもとづき、表 2.6-2 を標準とする。

なお、これにより難しい場合には、監督職員と協議を行い決定する。

表 2.6-2 要求点密度と精度

点密度	精度（標準値）
100 点／㎡以上	全ての調整用基準点における較差±5cm 以内

「UAV 搭載型レーザースキャナを用いた公共測量マニュアル（案）」

2.7 計測における留意点

UAV を用いたブロック据付工の計測にあたっては、以下に示す事項に留意する。

【解説】

(1) UAV 写真測量

① 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や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こと、およ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出る傾向があることと、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 2.7-1 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で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 2.7-2 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。

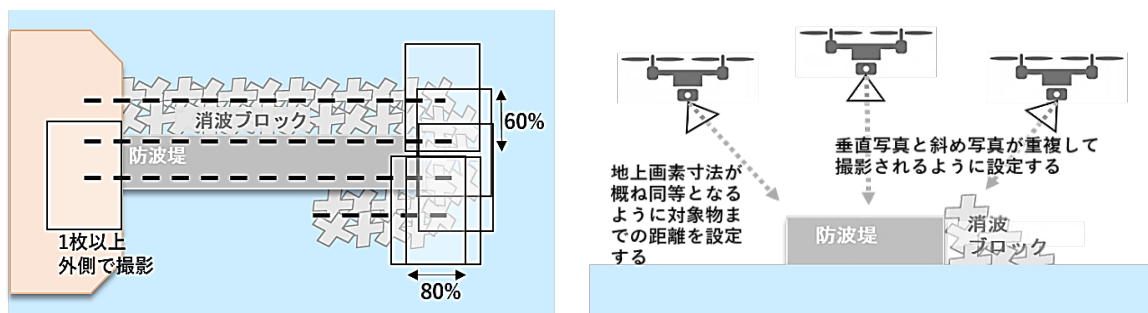


図 2.7-1 空中写真の撮影計画イメージ



※左の写真の方が1枚の写真に水部が少なく、望ましい

図 2.7-2 空中写真の撮影例（水域部の割合）

② 標定点・検証点の設置

「作業規程の準則」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（水上部）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。これらの標定点および検証点は消波ブロック上には配置しないこととする。」ただし、消波ブロックの離岸堤など上部工が無い構造の場合は、陸域に標定点および検証点を設置し、広域撮影を行うなどの対応も可能である。

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 間隔以内に最低 2 点以上設けて精度を評価するものとする。

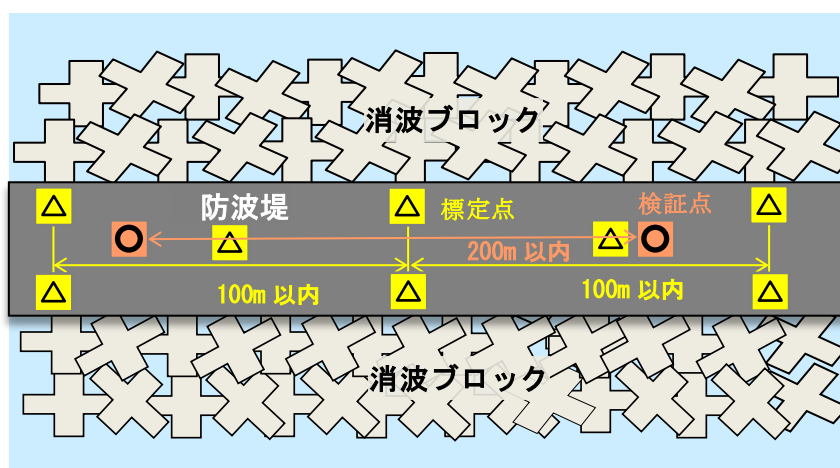


図 2.7-3 UAV 写真測量 標定点と検証点の設置イメージ

(2) UAV レーザー計測

UAV レーザー計測は、近赤外レーザーとグリーンレーザーと 2 種類に大別でき、いずれも UAV 写真測量とほぼ同等の精度で、水上部の構造物の計測が可能である。

近赤外レーザーの計測点密度や設置する調整点数などの決定については、使用する機器のスペックや、他の基準類を参照し決定すること。なお、検証点については、200m 間隔以内に最低 2 点以上設けることを標準とする。調整点を使用する場合や検証点の設置個所は防波堤天端上とし、消波ブロック上の設置は省略可とする。

水際部の計測においては、水上部および水際部の 3 次元点群データを同時に計測する UAV 搭載型グリーンレーザー計測器を用いることを推奨する。なお、グリーンレーザー計測では水質（濁り）や気象条件（潮位、波浪、砕波など）による影響を受けることから、事前に確認したうえで、計測作業を行うこと。また、グリーンレーザー計測器は水上部と水際部を同時に計測することができることから、計測点密度や調整点および検証点の配置については、水上部の内容に従って実施すること。

(3) その他

① 水際部（水上部と水中部の境目）での計測方法

水中部について同時にマルチビーム測深を実施する場合には、マルチビーム測深は満潮時に実施し、水上部の UAV を用いた計測は干潮時に実施する等、潮位差を利用して、可能な限り水際部の計測範囲を重複させ、シームレスに取得データを結合できるようにする。

また、マルチビーム測深と UAV を用いた計測で得られる 3 次元点群データ密度に差があることから、マルチビーム測深においては、測深時の船速を極力低速にして進行方向のデータギャップを小さくさせることや、構造物へビームを集約して高密度なデータを取得するよう、留意する必要がある。

2.8 計測性能・精度管理

UAV を用いた計測結果については、規定の精度を満足することを確認するものとする。

【解説】

精度検証は、「別紙 3」に示す方法により実施し、「精度確認試験結果報告書」に記録する。

なお、UAV 写真測量における地上画素寸法や要求精度、UAV レーザー計測における要求精度、並びに取得点密度の詳細については、本要領の「別紙 3」（第 3 章）を参照のこと。

2.9 データ解析

計測結果の補正を行った後、ノイズ等のエラーデータを除去した上で、地形を適切に表現した 3 次元点群データを作成するものとする。

【解説】

(1) データ解析

各方法により取得したデータは、解析ソフトを用いて補正やノイズ除去を行い、3 次元点群データを作成する。

(2) UAV 写真測量における 3 次元形状復元計算

UAV 写真測量における 3 次元復元計算は、「作業規程の準則」にもとづき実施するものとする。

3 次元点群データは、撮影した画像および標定点データを用いて、3 次元形状復元計算ソフトを用いて作成する。

(3) ノイズ除去処理

ノイズの除去は、ある程度は解析ソフトにより統計的に除去することが出来るが、統計的な処理では限界があるため、最終的にはプロファイル表示し、手作業による除去作業を行う必要がある。判断に迷う場合には画像等を残し他測線の記録などから総合的に判断する。

(4) 計測データ編集時の留意点

各種補正データが正しく作成できている事が重要であるとともに、ICT 計測機器における特徴的な誤差要因である現象が発生していないことを特に注意して確認する必要がある。

また、ノイズ除去によりデータ数が減少しても、必要データ数が確保されていることが必要である。

(5) 正データの作成

ブロック据付工の据付状況の把握には、UAV を用いた計測で得た全取得データを使用する。現状の地形の計測時には測線毎に、補正とノイズ処理を行った計測結果を対象区域全体でとりまとめ、水平位置と高さを記録した 3 次元点群データとして保存する。3 次元点群データは、ブロック据付工に供するに十分な密度であることを確認する。

取得点密度確認の留意点について以下に示す。

- 「ブロック据付の完成形状の把握」を目的とする場合については、計測対象の全域に 1.0m 平面格子をかけ、その総平面格子数において 25 点以上の取得点密度が担保されていること。
- 「消波ブロック据付（水上部）の出来形管理」を目的とする場合については、計測対象の全域に 1.0m 平面格子をかけ、その総平面格子数において 100 点以上の取得点密度が担保されていること。
- 海象条件や特殊な地形などの諸条件により、取得点密度を満たすことができなかった場合は、監督職員と対応を協議する。
- 縦断図、横断図により凹凸等の形状を面的に把握するのに支障がない場合は、監督職員と対応を協議したうえで管理図面とする。

2.10 データ管理

取得データは、測線毎に補正とノイズ処理を行った計測データ結果を対象区域全体でとりまとめ、水平位置と高さを記録した3次元点群データとして保存する。正データ（3次元点群データ）のほか、各種補正データなどをとりまとめ保存するものとする。

【解説】

(1) データの保存

取得オリジナルデータ（3次元点群データ）のほか、各種補正データなどをメタデータとしてとりまとめ、保存するものとする。

(2) データの変換

収録データ（3次元点群データ）は、一般的に使用される点群処理ソフトウェアで読み込み可能な形式と想定される平面位置（ x, y ）と、基準面からの高さ（ z ）（3次元設計データに使用する際は、水深値には z に－（マイナス）符号を加える必要がある。）を記録したスペース区切り、あるいはカンマ区切りのテキスト形式で保存するものとする。

この際の保存するデータは、データの並び順は、数学座標の x, y （測量座標の y, x ）, z とし、 z は C.D.L= ± 0 を基準として、基準下はマイナス、基準上はプラス表記とする。