

マルチビームを用いた
深浅測量マニュアル(浚渫工編)
(令和6年4月改定版)

令和6年4月

水産庁漁港漁場整備部

目 次

第 1 章 概説	1
1.1 はじめに	1
1.2 目的	1
1.3 本マニュアルの構成	2
1.4 適用範囲と利用上の注意点	3
1.5 用語の解説	5
第 2 章 マルチビームを用いた深淺測量	7
2.1 作業工程	7
2.2 測量計画・準備	8
(1) 測量計画	8
(2) 作業手続き	9
2.3 艀装・テスト	10
(1) GNSS 精度確認	10
(2) 機器の取り付け（オフセット）	10
(3) 喫水確認	12
(4) パッチテスト	13
2.4 水深測量	16
(1) 水中音速度測定	16
(2) 測深	16
(3) データ記録	17
(4) 再測深	18
2.5 計測基準	19
(1) 測地系	19
(2) 基準面	19
(3) 潮位	19
2.6 検測・精度管理	20
(1) 検測	20
(2) 精度管理	21
(3) 主な測深エラーの原因と水深編集時の留意点	21
2.7 データ解析	24

(1) ノイズ除去処理.....	24
(2) 水深編集時の留意点.....	24
2.7.1 データ解析（CUBE 処理によらない場合）.....	25
(1) 正データを用いた中央値・最浅値の作成.....	25
2.7.2 データ解析（CUBE 処理による場合）.....	26
(1) CUBE 処理の条件.....	26
(2) CUBE 水深の計算.....	26
(3) CUBE 水深の点検.....	28
2.8 データ管理.....	29
(1) データの保存.....	29
(2) データの変換.....	29
第 3 章 3次元設計データの作成	30
3.1 目的.....	30
3.2 適用範囲.....	30
3.3 3次元設計モデルの構造.....	30
(1) 3次元海底地形モデル(TIN モデル).....	30
(2) 縦断面形状.....	32
(3) 横断面形状.....	32
(4) 俯瞰図.....	32
3.4 3次元設計データの作成範囲.....	34
3.5 3次元設計データを作成する際の留意点.....	34
(1) 断面形状.....	34
(2) 横断形状に反映する項目.....	34
(3) 設計データの単位系および桁数.....	34
3.6 3次元設計データの照査方法.....	35
(1) 3次元設計データを3次元ビューアで表示した外観の目視点検.....	35
(2) 2次元の平面図、縦断面図、横断面図と照合した点検.....	35

第 1 章 概説

1.1 はじめに

水産庁では、公共工事の品質確保の促進に関する法律の趣旨に基づき、漁港漁場分野においても、計画・調査、測量・設計、施工計画・積算、施工・施工管理、検査、維持管理に至る一連の建設プロセスにおいて ICT を全面的に活用した情報の 3 次元化の一環として、新たに基準の整備を進めているところである。

『マルチビームを用いた深淺測量マニュアル（浚渫工編）』（以下「本マニュアル」という）は、浚渫工におけるマルチビームを用いた深淺測量について、現在の技術を勘案した標準的な作業方法や測深性能、測深精度等について定めたものである。

1.2 目的

本マニュアルは、水深 30m 以浅の浚渫工においてマルチビームを用いた深淺測量を実施する場合の標準的な作業方法を定め、その規格の統一、成果の標準化および必要な精度の確保に資することを目的とする。

なお、本マニュアルに記載の無い項目については『漁港漁場設計・測量・調査等業務共通仕様書（水産庁漁港漁場整備部）』に準ずるものとする。また、水路測量に該当する深淺測量や岸線測量と験潮については海上保安庁の「水路測量業務準則」および「水路測量業務準則施行細則」に準ずるものとする。

【参考】

水路測量業務準則

http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/junsoku.pdf

水路測量業務準則施行細則

http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/saisoku.pdf

1.3 本マニュアルの構成

本マニュアルは、水深 30m 以浅の浚渫工においてマルチビームを用いた深浅測量を実施する際の標準的な作業方法、使用する機器等の必要な事項について規定している。

また、測量技術としてのマルチビームを用いた深浅測量に対する理解を深め、その利用の普及・促進を図るため、解説を加えている。なお、本マニュアルの全体構成は、以下のとおりである。

① 全体概要

浚渫工におけるマルチビームを用いた深浅測量についての概説、本マニュアルの構成等について説明している。

② マルチビームを用いた深浅測量

浚渫工においてマルチビームを用いた深浅測量を実施するにあたっての工程別作業区分および順序、作成手法、精度管理等について規定している。

③ 3次元設計データの作成

マルチビームにより取得された3次元測深データから、浚渫工における設計図書作成、施工計画、施工管理、出来形管理において必要な3次元設計データの作成方法について規定している。

1.4 適用範囲と利用上の注意点

本マニュアルでは、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、マルチビーム測深を使用した深浅測量を前提としている。

使用するマルチビームについては、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、本マニュアルは、令和4年4月に改正された海上保安庁『水路測量業務準則施行細則』（以下「準細則」という）にて、マルチビームのデータ解析方法として新たに追加された「CUBE 処理」にも対応するものである。

【解 説】

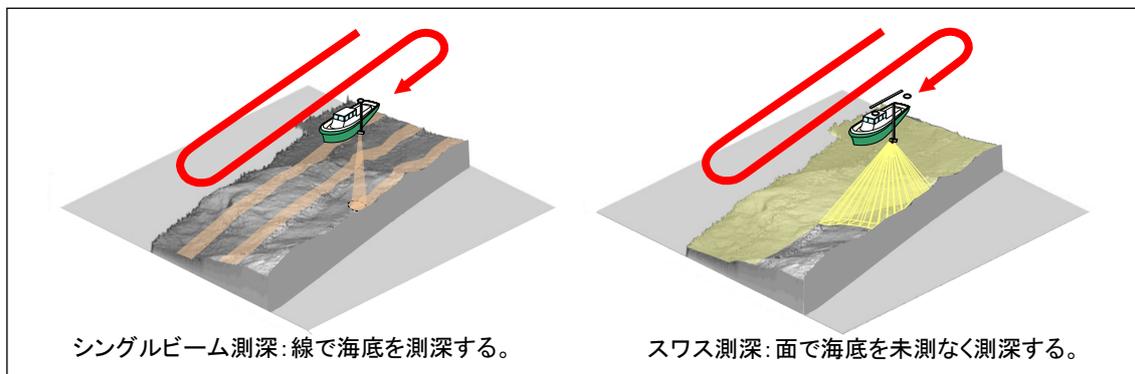
海底地形を面的に詳細に計測するスワス測深には2種類あり、主にクロスファンビーム（ミルズクロス）方式に代表されるマルチビーム測深と、インターフェロメトリ方式に代表されるインターフェロメトリ測深である。

浚渫工の出来形測量等においては、後述する「2.6 検測・精度管理」で示すとおり、原則として精度は「平成14年海上保安庁告示第102号」で定められているとおりとする。測深性能（取得点密度）は、処理方法の違いにより条件が異なっており、下記データ取得間隔に示す通りとする。ただし、海象状況や特殊な地形など諸条件より、上記の精度・性能を満たすことが出来なかった場合は、監督職員と対応を協議する。

スワス測深とは、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。

海底地形を面的に詳細に計測するスワス測深には、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の2つのシステムがあるが、3次元点群データの取得にはマルチビーム測深を用いる。

従来のシングルビーム測深が海底を送受波器直下の水深情報を線で測深しているのに対し、スワス測深は面的に詳細な海底地形を測深するものである。



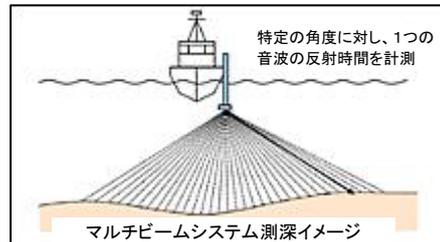
「海洋調査技術マニュアルー深浅測量ー（(一社)海洋調査協会）」より転載

図- 1.1 シングルビーム測深とスワス測深

2つのスワス測深システムの計測原理の主な特徴を示す。

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－深淺測量－（（一社）海洋調査協会）」より転載

（データ取得間隔）

マルチビームを使用して測量計画を立案する場合、特に対象水域の水深、成果の分解能（メッシュサイズ）、計測の目的（精度）を考慮し、有効測深幅を設定することが重要である。

近年一般化しているスペックのマルチビームは、1スワスが256本の音響ビームからなり、測深時に1ビームが等角度モード（ソナーヘッドを中心とした等角度で計測）、等間隔モード（海底面において等距離で計測）の選択ができるようになっている。さらにスワス角は 10° ～ 160° まで調整可能となっている。

＜CUBE 処理によらない場合＞

本マニュアルに示す取得点密度3点以上/1.0m 平面格子（達成率99%以上）を要する測深の場合、スワス角 $\pm 45^{\circ}$ ～ 60° （全角 90° ～ 120° ）に設定するものとする。測深時のレンジ設定および発振間隔を決定した上で、計測にはエラーデータも含まれることも考慮し、必要密度（3点以上/1.0m 平面格子（達成率99%以上））を満たせるよう重複幅、船速の上限を決定する。

＜CUBE 処理による場合＞

CUBE 処理を行う場合は、マルチビームで得られるデータの特性を考慮した上で、高密度で高品質なデータを測得する必要があるため、準細則では以下の設定条件が定められている。

- ・ スワス角 $\pm 55^{\circ}$ （全角 110° ）以内。
- ・ 左右スワスが100%以上重複した測深データであること。

1.5 用語の解説

本マニュアルで使用する用語を以下に解説する。

【スワス測深】

海底地形を面的にかつ詳細に計測する測深方法であり、マルチビーム測深とインターフェロメトリ測深の総称である。

【マルチビーム】

マルチビームとは、ナロー（細かい）マルチ（複数の）ビームによる測深が名前の由来であるナローマルチビームシステムのことを略した表現である。

【海上位置測位】

水域において深淺測量等の調査作業、工事を実施する地点の位置の測定を行う作業をいう。その際、工事用基準点、漁港管理用基準面等の測量情報および利用する座標系情報が必要になる。

【水深測量】

水域において深さの計測を行い、主に経緯度（もしくは位置座標）水深ファイル（以下「3次元データ」という）を作成する作業をいう。

【CUBE 処理】

CUBE とは、Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator の略。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）」を考慮した統計的な処理により、測深データから水深を算出する一連の処理手法のこと。令和4年4月に改正された海上保安庁『水路測量業務準則施行細則』にて、マルチビームのデータ解析方法として新たに追加された。

【CUBE 水深】

CUBE 処理により算出された水深のこと。

【3次元データ】

本マニュアルで使用する3次元データとは、位置・水深値の点群データ、法線（平面線形、縦断線形）、出来形横断面形状を表記する目的のメッシュデータ、設計用CADデータ、土量計算など設計図書に規定されている工事目的の数値データ、視覚化するための面データに必要なTINデータなどを指す。これらデータが統一された空間座標系で利用される。

【3次元設計データ】

3次元設計データとは、法線（平面線形、縦断線形）、縦断図、横断図および利用する座標系情報など設計図書に規定されている工事目的物の形状とともに、それらを TIN などの面データで出力したものである。

【TIN データ】

TIN（不等辺三角網）とは、Triangulated Irregular Network の略。TIN は、地形や出来形形状などの表面形状を 3次元座標の変化点標高データで補間する最も一般的なデジタルデータ構造である。TIN は、多くの点を 3次元上の直線で繋いで三角形を構築するものである。TIN は、構造物を形成する表面形状の 3次元座標の変化点で構成される。

【3次元点群データ】

マルチビーム機器で測深したデータであり、平面的な位置 (X, Y) と、深さ、あるいは高さ (Z) の 3要素で構成された 3次元データの集合体のこと。

【メッシュデータ】

メッシュデータとは、点群データを正方形の格子状に区切った単位で、その範囲における点群データのうち中央値、最浅値を採択するなどの加工処理したデータのことである。

【TIN 分割等を用いて求積する方法】

3次元設計データや起工測量結果から、それぞれの面データとして TIN からなる面データを作成したうえで、施工水深値にて施工水深面を設定し、各 TIN の水平投影面積と、TIN を構成する各点から施工水深面までの高低差の平均（平均高低差）を乗じた体積を総和する方法のこと。

【プリズモイダル法】

起工測量結果、出来形計測結果等からそれぞれの面データとして TIN からなる面データを作成し、面データのポイントの位置を互いの面データに投影する。次に各面データから、本来の自身を持つポイントと相手のポイントを合わせたポイント位置により新たな三角網を形成し、この三角網の結節点の位置での標高差にもとづき複合した面データの標高を計算する。面データの各 TIN を構成する点をそれぞれの面データに投影すると、各面データに同じ水平位置で標高の異なる点が作成されるので、その作成された点で再度面データを構築し、三角形水平面積と高低差を乗じた体積を総和する方法のこと。

第 2 章 マルチビームを用いた深淺測量

2.1 作業工程

マルチビームを用いた深淺測量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

2.2 測量計画・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。

(1) 測量計画

測量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。

測量計画は、以下の条件を満足するよう、測量区域の水深、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。

<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（グリッドサイズについては、本マニュアル「2.7.2 データ解析（CUBE 処理による場合）」を参照）。

【解説】

<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、輻輳した航路、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ス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。

(2) 作業手続き

① 必要な手続き

深浅測量の実施に際しては、事前に、水路測量許可、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、測量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。

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、実施される測量作業区域、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、測量作業について安全周知が行われる。

- ・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

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。

2.3 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。

(1) GNSS 精度確認

水深測量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。

なお、CUBE 処理による場合は、原則としてネットワーク型 RTK 法又は後処理キネマティック法もしくは同等以上の測定精度の手法を用いなければならない。

GNSS は、測量実施前に精度確認を行い、「平成 14 年海上保安庁告示第 102 号」水路測量における測定または調査の方法に関する告示の『水平位置の測定の誤差の限度』を満たしていることを確認しなければならない。

精度確認結果は、GNSS 精度管理表に取りまとめる。

【解 説】

本章では使用する GNSS の測位方法について規定していない。しかし、浚渫工の出来形管理基準を満たすためには最終点群データが適切に再現可能な精度が確保できる測位精度を有するシステムを使用する必要がある。使用する GNSS 機器は、使用にあたり発注者の承諾を事前に受けることが一般的である。

(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、表-3.3 の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。CUBE 処理による場合は、準細則において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、1 ミリ mm 単位まで測定しておくことが求められている。

【解説】

必要とされるオフセット値の計測項目の例を示す。

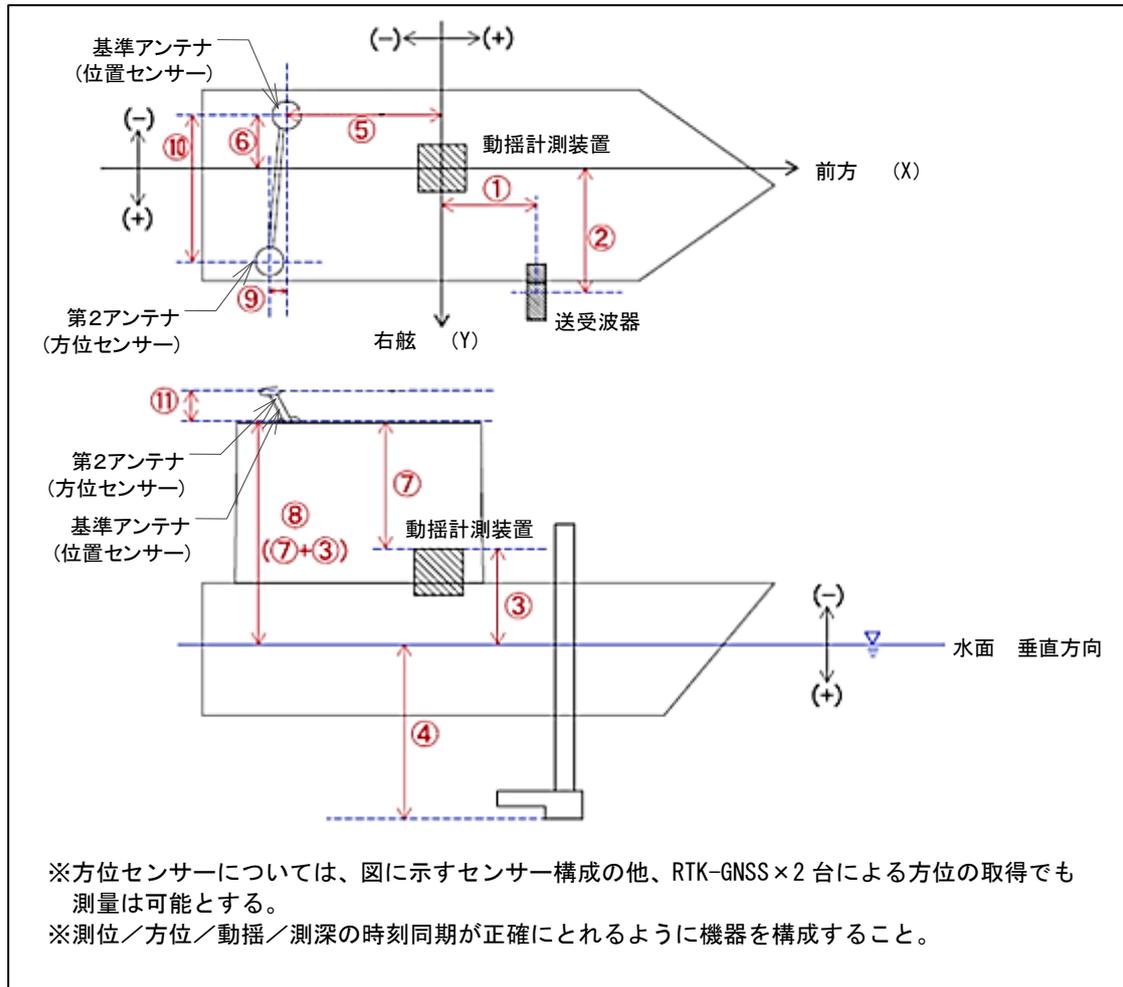


図- 2.1 オフセット値の計測項目例

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「マルチビーム測深システム点検簿（別紙-2）」等に記録する。

【解説】

- (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1m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艀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艀装する。
- (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艀装する。
- (6) 艀装を終えたら、各機器の位置関係をメジャー等で計測して記録・入力後、すぐに計測が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－深浅測量－(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、水面に対してできるだけ水平、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、必ず取り付け誤差が発生する。この取り付け角度の誤差（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。

【解 説】

<バイアス値>

Roll（ロール）：船の進行方向に対して横方向の取り付け角度

Pitch（ピッチ）：船の進行方向の取り付け角度

Yaw（ヨー）：進行方向に対する送受波器の向き

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)

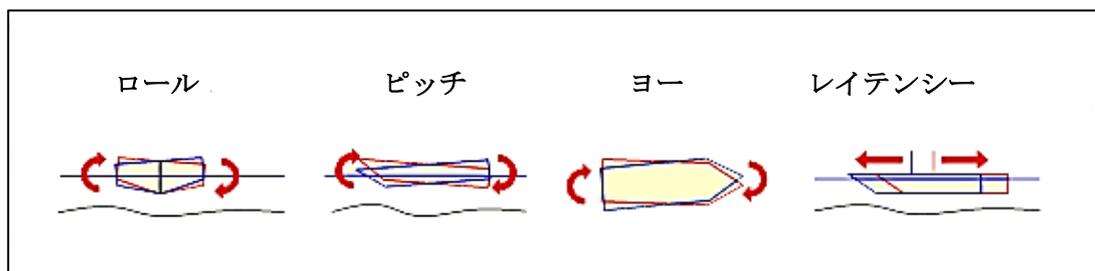


図- 2.2 バイアス値の種類

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。

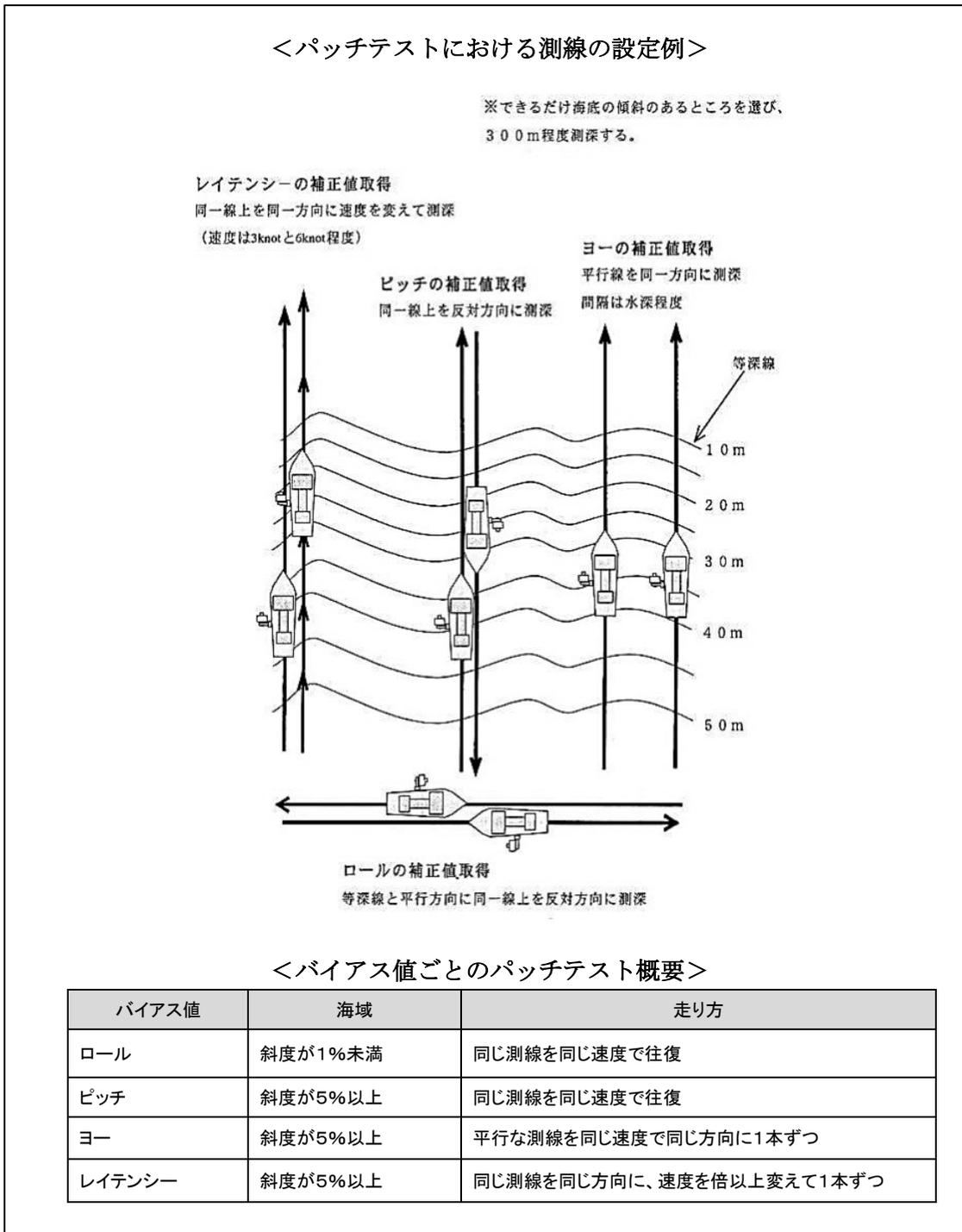


図- 2.3 パッチテストの計測条件

【解 説】

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－深浅測量－（(一社)海洋調査協会）」より転載(一部追記)

2.4 水深測量

水深測量とは、測量船に艤装したマルチビームを用いた深浅測量をいい、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。

(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。

また、収録結果は、音速度測定結果表に取りまとめる。

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できる形式で作成する。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中で、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1/10～1/20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ている記録）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 測深に際しての留意点

- ・ 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」(p24) 解説参照）。
- ・ 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。

(3) データ記録

① データ記録の方法

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。

② データ記録に際しての留意点

時間的な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。

(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。

2.5 計測基準

マルチビームを用いた深浅測量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。

(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とする。

なお、浚渫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、詳細については「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。

【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。

2.6 検測・精度管理

マルチビームを用いた深浅測量の測定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。

(1) 検測

① データの検証方法

収録データの検証は、「水路測量業務準則施行細則」で定められた測深精度の検証方法のとおりとし、測定誤差の限度は、「平成 14 年 海上保安庁告示第 102 号」で定められたとおりとする。照査線の間隔は、測深線間隔の 15 倍を標準とする。ただし、海象条件や特殊な地形などの諸条件により、基準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。

【解 説】

「水路測量業務準則施行細則」における測深精度の検証の方法を示す。

第 8 章 水深測量

第 2 節 測深の方法

3. スワス音響測深機

(1) スワス音響測深機の精度は、第 1 項第 2 号の基本性能を満たすとともに次の精度を満たすものとする。

ハ ビームフォーミングによる測深精度は砂地の平坦な海底を利用して測量船を停船させ 200 ピング以上を取得し、そのビーム毎の水深の平均から標準偏差を算出し、標準偏差の 2 倍（誤差）の値が告示別表二の事項「水深」の項目「深さの測定の誤差の限度」以内であること。

第 3 節 測深作業

3. スワス音響測深機

(4) スワス音響測深機による測深作業は、第 1 号および本号の規定によるほか次による。

イ 現地作業における測深精度を検証するため、起伏のある海域において、左右のビームが 100% 重複するように 2 本の平行な測深線（井桁のような測深線）を走行（以下「井桁走行」という）し、1 日 1 回以上データを取得するものとする。ただし送受波機が船底装備となっている場合は、測量作業毎に最低 1 回の実施でよい。

(2) 精度管理

① バイアス値の算出

バイアス値は、パッチテストにより求める。パッチテストは複数の測深結果を統計的に処理し、重複する箇所での地形再現性からバイアス値を求めるものである。

なお、CUBE 処理による場合には、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なければならない。

パッチテストにより求められたバイアス値は、マルチビーム測深システム点検簿に記入すると共に解析ソフトウェアに入力し適用する。

② 測深値の補正用データ

マルチビーム測深機により測深したデータについては、海上測位データとの関係づけ、水中音速度、潮位、動揺データ等で補正を行うため、必要な精度で必要な情報が取得されていなければならない。各測深点データを標準化するデータ解析には、解析ソフトウェアを使用するが、測深データおよび測深時の補正データがソフトウェア上に適切に読み込まれていることを確認する必要がある。

③ 測深精度管理チェックシートの作成

各機器の設定が的確に行われていること、各種補正データが適切に反映されていることを確認するために「測深精度管理チェックシート」を作成する。測深精度管理チェックシートには、GNSS 精度確認結果、マルチビーム測深システム点検簿（オフセット値、パッチテスト結果等を含む）、各種補正記録簿（音速度測定記録、検潮記録）、測深精度管理表（照査線による検測結果）を添付するものとする。

別紙に「測深精度管理チェックシート（案）」、添付資料の様式および記載例を示す。

(3) 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。

【解説】

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。

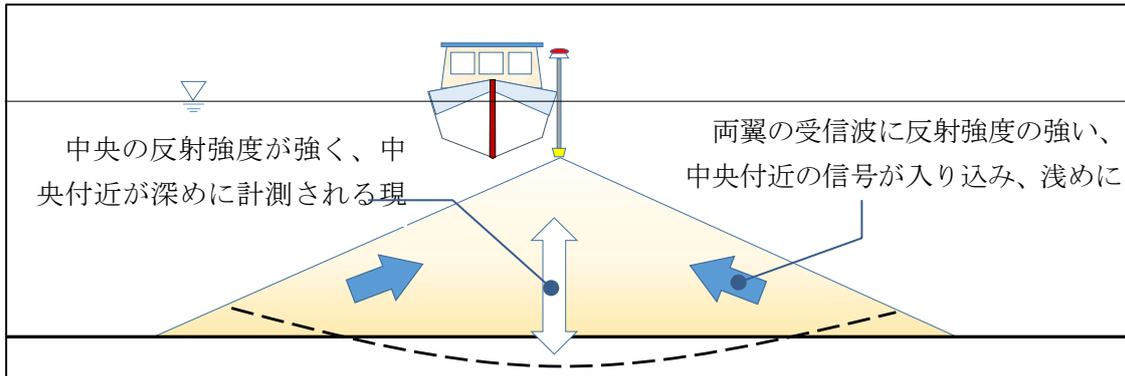


図- 2.4 トンネル効果現象エラーイメージ

<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、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。

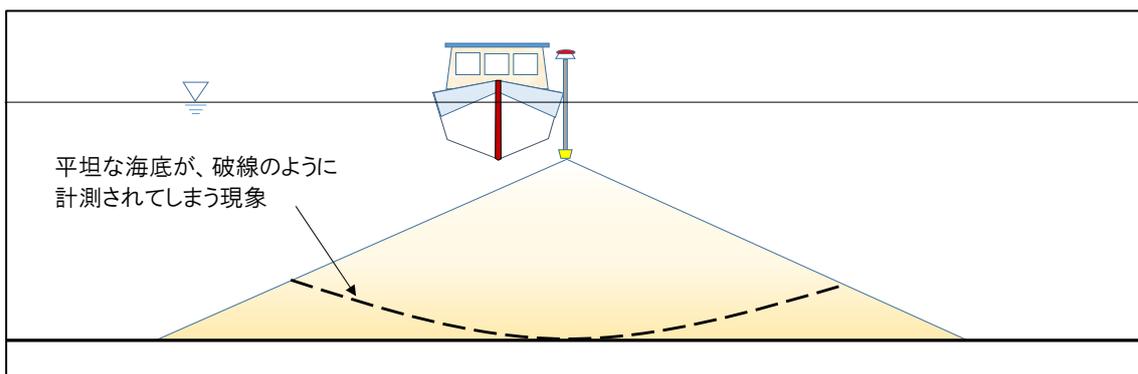


図- 2.5 スマイルカーブ現象エラーイメージ

※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。現場ではどちらの原因か判定し難い。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。

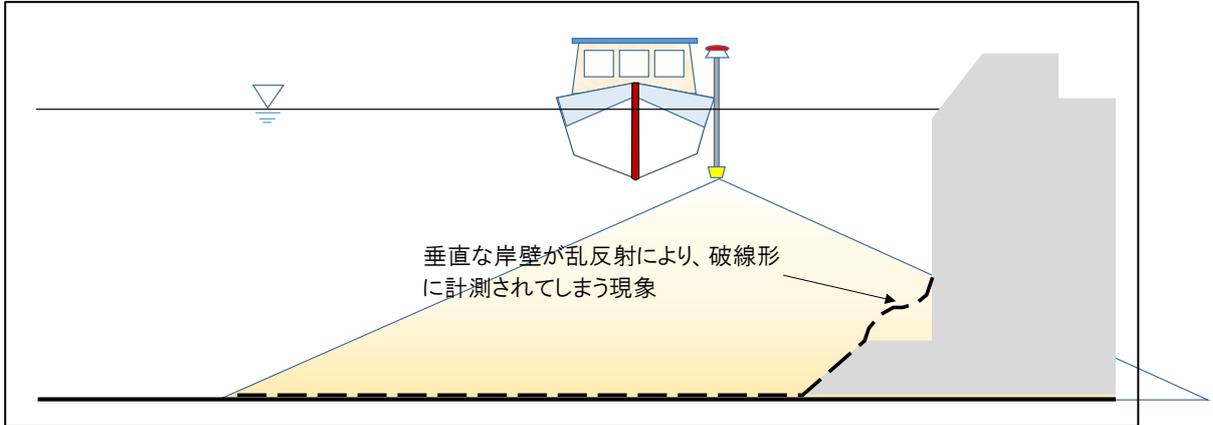


図- 2.6 クロストーク現象エラーイメージ

<キャタピラ現象>

ロール・ピッチ・ヨー・ヒーブの各動揺成分の補正が正しく行われなかったことによって、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。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、動揺成分の補正値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。

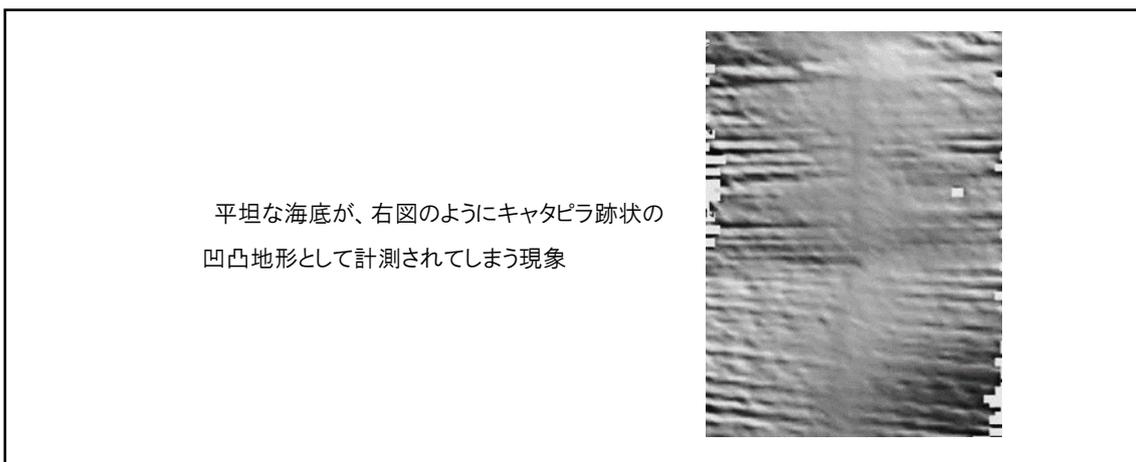


図- 2.7 キャタピラ現象エラーイメージ

2.7 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。

(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にある程度削除することができるが、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) 水深編集時の留意点

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共に、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。

2.7.1 データ解析（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。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。

- ① 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）。
- ② 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。
- ③ 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、浚渫箇所が点在していたり、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。

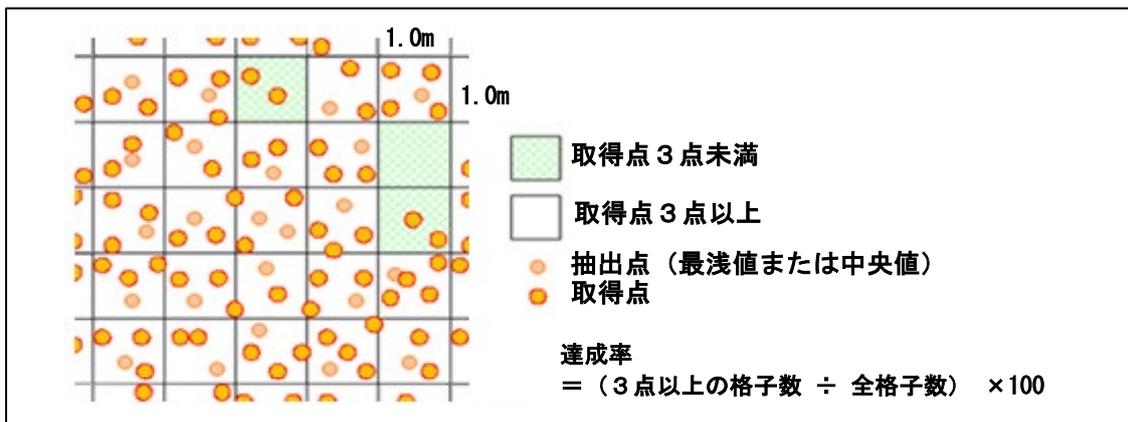


図- 2.8 データ密度の考え方

2.7.2 データ解析（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 法又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

① 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

② 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-2.1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- 2.1 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

③ 取得点密度

表-2.1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。

④ 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。

⑤ 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。

⑥ 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。

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

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。

2.8 データ管理

マルチビームを用いた深浅測量データは、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。

(1) 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。

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。

【解 説】

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、± (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 3 章 3次元設計データの作成

3.1 目的

マルチビームにより取得された3次元点群データから、浚渫工における設計図書作成、施工計画、施工管理、出来形管理において必要な3次元設計データを作成することを目的とする。

3次元設計データを使用し、以下の事項について検討を行う。

- ① 浚渫方法・浚渫船種の選定
- ② 浚渫工事設計
- ③ 高精度な数量計算
 - ・ 浚渫土量 ・ 砕岩土量 ・ 排砂管設備：零号設備箇所、受枠延長、排砂管延長
 - ・ 運搬土量 ・ 揚土量

3.2 適用範囲

浚渫工事の設計・施工段階での発注図書作成、施工計画、施工管理に必要な3次元設計データを作成する際に適用する。

3.3 3次元設計モデルの構造

3次元設計モデルの構成要素は、3次元海底地形モデル（不等辺三角網モデル：TINモデル）、縦断面形状、横断面形状、および俯瞰図等で構成され、設計から施工、出来形管理の各段階において作成する。

(1) 3次元海底地形モデル(TINモデル)

<設計段階>

- ① 工事範囲およびその周辺海域においては、本マニュアル 第2章の規定に従ったマルチビームによる深淺測量を実施し、1.0m 平面格子内において中央値を抽出した1点/1.0m 平面格子の点群データから、現状の海底地形をモデル化した「現状の海底地形の TIN」を構築する。構築された「現状の海底地形の TIN」から、現況の縦断面形状、横断面形状、および俯瞰図等を構築する。
- ② 構築した縦断面形状、横断面形状、および俯瞰図等から仕上がり形状を抜粋し、必要な情報を取得する。「浚渫工事の仕上がり形状の海底地形の TIN」は、これらの構成

要素を用いて面的な補間計算を行い、モデル（TIN）を構築する。なお、浚渫範囲の外側は、「現状の海底地形の TIN」と接合し合成する。加えて、土質情報は土質算出区分表から土質、N 値の情報にもとづき 3 次元データ化する。生成された「現状の海底地形の TIN」から、仕上がりの縦断面形状、横断面形状、および俯瞰図等を構築する。

*上記の 2 種類の 3 次元設計モデルから、TIN 分割等を用いて求積する方法、プリズモイダル法で数量計算を実施し、発注数量が算出される。

<施工段階>

- ① 施工前に工事範囲およびその周辺海域においては、本マニュアル 第 2 章の規定に従ったマルチビームによる深淺測量（起工測量）を実施し、「施工前の海底地形の TIN」を構築する。構築された「施工前の海底地形の TIN」から、施工前の縦断面形状、横断面形状および俯瞰図等を構築する。

*上記の「施工前の海底地形の TIN」および、発注者から貸与された「浚渫工事の仕上がり形状の海底地形の TIN」から、TIN 分割等を用いて求積する方法、プリズモイダル法で数量計算を実施して、設計図書の数量と比較検証を行い、更に、工事計画等を立案する。

<施工段階（出来形管理）>

- ① 浚渫工事完了後に工事範囲およびその周辺海域においては出来形管理として、本マニュアル 第 2 章の規定に従ったマルチビーム測深による深淺測量（竣工測量）を実施し、「竣工時の海底地形の TIN」を構築する。構築された「竣工時の海底地形の TIN」から、浚渫後の縦断面形状、横断面形状および俯瞰図等を構築する。

*上記「竣工時の海底地形の TIN」と、発注者から貸与された「浚渫工事の仕上がり形状の海底地形の TIN」から出来形評価を行い、出来形管理図表を作成し、出来形管理資料とする。

(2) 縦断面形状

- ・ 航路浚渫で、あらかじめ発注図等に航路法線が示されている場合は、航路法線を縦断面として設定する。それ以外の場合には、浚渫工事範囲の中心に工事法線を設定し、これを縦断面とするなど別途設定する。
- ・ 「浚渫工事の仕上がり形状の海底地形の TIN」と「現状の海底地形の TIN」から、仕上がり形状および、現況の縦断面形状を構築する（設計段階）。
- ・ 「施工前の海底地形の TIN」から、施工前の縦断面形状を構築する。
- ・ 「竣工時の海底地形の TIN」から、竣工時における縦断面形状を構築する（出来形管理）。

(3) 横断面形状

- ・ 中心線に直交した横断線を設定する。なお、横断線の設定間隔は発注時の深淺測量図のメッシュ間隔を基本とする。
- ・ 「浚渫工事の仕上がり形状の海底地形の TIN」と「現状の海底地形の TIN」から、仕上がりおよび現況の横断面形状を構築する。（設計段階）
- ・ 「施工前の海底地形の TIN」から、施工前の横断面形状を構築する。
- ・ 「竣工時の海底地形の TIN」から、竣工時の横断面形状を構築する。（出来形管理）
- ・ 横断形状データは、構造物、法面、地形変化点、法面余掘、底面余掘および各浚渫範囲を含む。

(4) 俯瞰図

設計データの 3次元表示は、以下の要素を含む俯瞰図を各段階の TIN モデルから作成する。

- ・ 設計時の海底地盤地形
- ・ 仕上がり形状の海底地盤地形
- ・ 施工前の海底地盤地形
- ・ 竣工時の海底地盤地形
- ・ 土質、N 値のボーリング調査情報

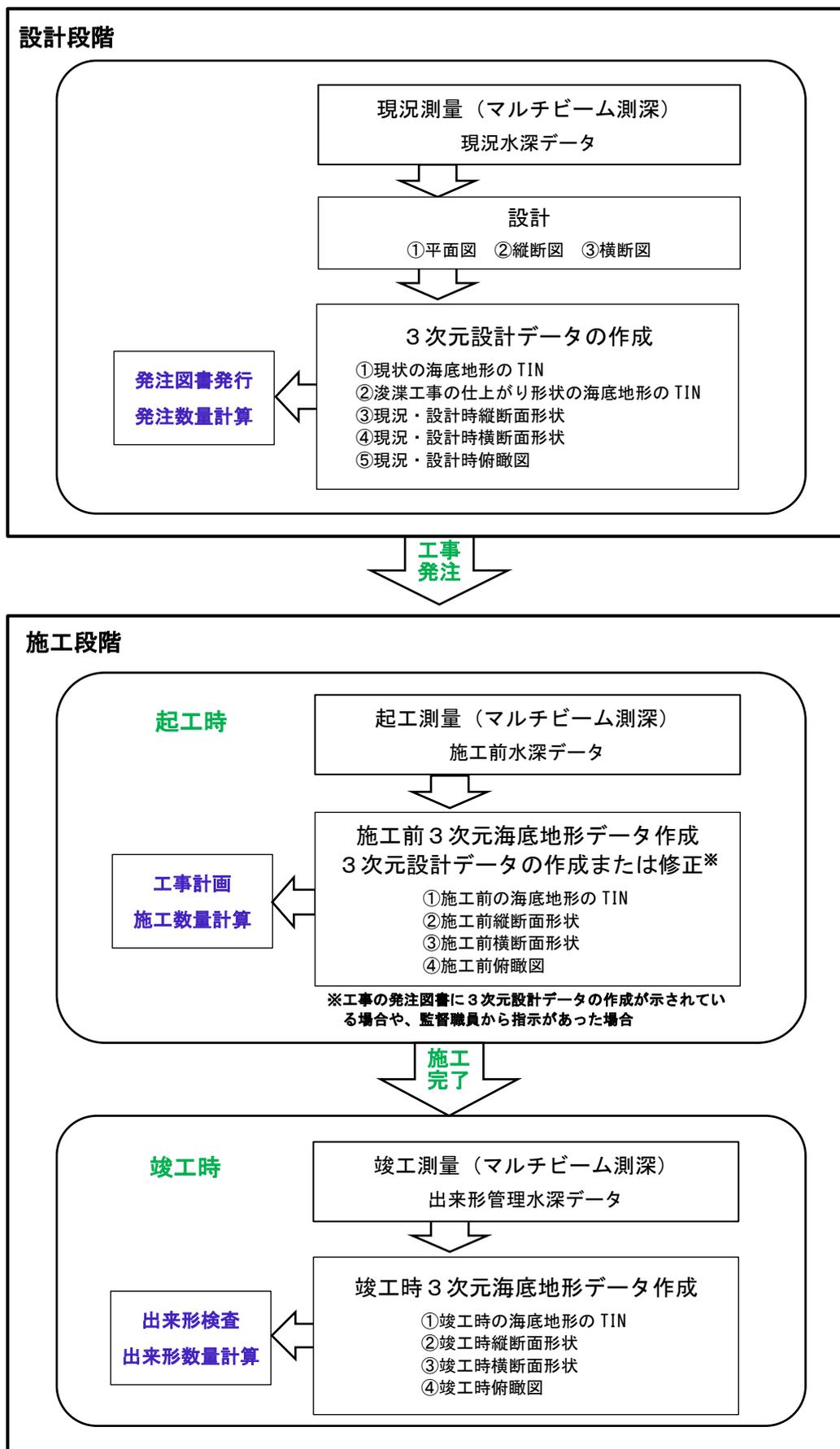


図- 3.1 3次元設計データ作成のフローチャート

3.4 3次元設計データの作成範囲

TIN モデル、縦断面形状、横断面形状および俯瞰図等の作成範囲は、浚渫工による海底地形の形状を考慮して作成範囲を設定する。

3.5 3次元設計データを作成する際の留意点

地形の再現性に配慮した空間分解能を有する地形モデルを作成し、各設計データの基準値に合致した有効桁数を設定する。

(1) 断面形状

モデルは断面地形の再現性を配慮した空間分解能を有することが重要である。特に、法尻・法肩やケーソンフーチング等を有する場合は、これらの形状が確実に表現できるように、高密度の不定形 TIN モデルを構築しなければならない(1.0m 空間分解能)。

(2) 横断形状に反映する項目

- ・ 現況地盤、設計断面
- ・ 法面余掘、底面余掘、計画水深
- ・ 構造物

(3) 設計データの単位系および桁数

- ・ 平面座標 (m) : 小数3位止めを原則 四捨五入
- ・ 水深 (m) : 小数2位止めを原則 水深が浅くなる方に切り捨て切り下げ
- ・ 距離 (m) : 小数2位止めを原則 四捨五入
- ・ 体積 (m³) : 小数1位止めを原則 四捨五入

3.6 3次元設計データの照査方法

3次元設計データの照査方法の概要は、以下の2点とする。

- (1) 3次元設計データを3次元ビューアで表示し、その外観を目視で点検する。
- (2) 2次元の設計図書（平面図、縦断面図、横断面図等）と照合して点検する。

なお、照査は、上記(1)および(2)の点検を実施することを基本とするが、2次元の図面と3次元データの両方を、同一の3次元CAD設計ソフトウェアを使用して作成した場合は、両者の整合性が取れていると評価されるので、(2)の点検を省略しても良いものとする。

一方、3次元CAD設計ソフトウェアで作成した2次元図面を、汎用CAD等で変更するなど、複数のソフトを用いた場合は、必ずしも3次元モデルと2次元図面が一致する保証がないことから、両方の点検が必要である。

(1) 3次元設計データを3次元ビューアで表示した外観の目視点検

3次元設計データは3次元ビューアで表示し、PCのディスプレイ上で目視や座標等の数値を確認する。

- ・ 縦断面形状と横断面形状の両者の関係に着目し、法肩・法尻等の形状を点検する。
- ・ 地形や構造物形状との位置関係を確認し、それらに影響するような深掘等を確認する。

(2) 2次元の平面図、縦断面図、横断面図と照合した点検

3次元設計データの縦断面形状や横断面形状と、2次元の設計図書（平面図、縦断面図、横断面図等）の数値と照合して確認する。確認方法は、表-3.1に示すように3次元設計データと設計図書の数値等を対比して確認する。3次元設計データを操作しながら、設計図書の管理項目の箇所と寸法にチェックを記入する方法や、3次元設計データから2次元図面を作成し、設計図書と重ねあわせて確認する方法等を用いて実施する。詳細のチェック項目については、「様式 3次元設計データチェックシート（案）」に従って行うものとする。

表- 3.1 2次元の設計図書や数量算出断面等を用いたチェック方法

対象	方法
平面線形	線形の起終点、変化点（線形主要点）の平面座標と数値について平面図および線形計算書と対比。
縦断面形状	中心線形の起終点および、変化点の水深について縦断面図と対比。
横断面形状	浚渫区域の完成形状と法面形状、変化点等の地形や構造物形状について、設計図書に含まれる全ての横断面図と対比。確認方法は、ソフトウェア画面と対比し、設計図書の管理項目（例えば、航路幅、計画水深）と同じであることを確認する。

※「LandXML1.2 に準じた3次元設計データ交換標準の運用ガイドライン(案) 最新版」(略称：J-LandXML) に準じて作成

(別紙)

表- 3.2 測深精度管理チェックシート (案) の様式と記載例

【測深精度管理チェックシート(案)】マルチビームを用いた測深測量マニュアル(測深工編)		品質証明者:		印		(期間: 年 月 日 ~ 年 月 日)	
確認項目	確認資料	確認内容	確認結果		備考		
			確認日	確認者			
1. 使用するGNSSの測位精度	GNSS精度確認結果	実際に使用した機器である	/				
		観測基準点の既知座標値と観測平均座標値の差が示されている	/				
		最終成果を作成するに当たり十分な精度を有している	/				
		必要な時間、データ数が観測されている	/				
		記入に漏れがない	/				
2. 測深機器の取付状況	マルチビームシステム点検簿	マルチビーム測深機および周辺機器が適切に構築されている	/				
		各計測機器の位置関係が適切に計測・記載されている	/				
		バッチテスト結果が正しく記録されている	/				
		必要水深までの計測が出来ている	/				
		グラフがなめらかで異常値が含まれていない	/				
3. 水中音速度の計測結果	水中音速度測定簿	適切な間隔で記録が計測されている	/				
		作業開始時刻から終了時刻までの記録が記入されている	/				
		港湾管理者が定める港湾管理用基準面からの潮位である	/				
4. 潮位記録	検潮記録	潮位変動がなめらかであり、極端な変動(スライク的なエラー)や副振動が無い	/				
		適切な間隔で検潮が行われている	/				
5. 測深精度	検測(測深精度)管理表	検測との差が海上保安庁告示109号に定められた誤差以内である	/				

表- 3.3 測深精度管理チェックシート（案）に添付する資料（1/8）

「1. GNSS 精度確認結果」①

1. GNSS精度確認結果

作業実施日 : _____ 年 ____ 月 ____ 日

作業実施者 : _____

使用機器名称 : _____

基準点「〇〇」において、使用するGNSSを設置し観測を実施した。

データの取得は1秒毎に、600個(10分間)のデータを取得した。

下表により、GNSSによる観測は本測量の精度を満たしている。

	世界測地 X	世界測地 Y
既知点座標		
平均値座標		
(観測平均)-(既知)		

観測点分布図

● 観測差データ ● 観測差平均 ● 観測点

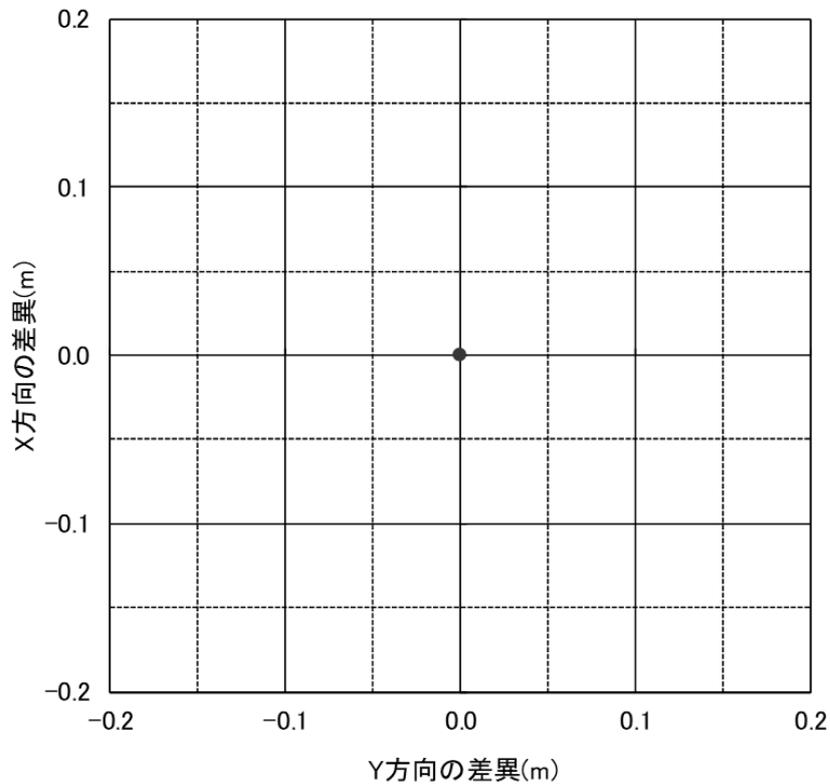


表- 3.3 測深精度管理チェックシート（案）に添付する資料（3/8）

「2. マルチビーム測深システム点検簿」

2. マルチビーム測深システム点検簿

工事名： _____

実施年月日： _____

インストレーションの測定

各機器の艀装状況 (installation offsets)

単位:m	前方(X)	右舷(Y)	下方(Z)
水中ヘッド			
動揺計測装置			
RTK-GNSS			

※右舷がX軸、前方がY軸のプラス方向

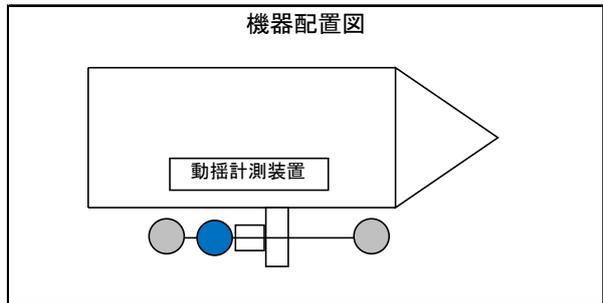
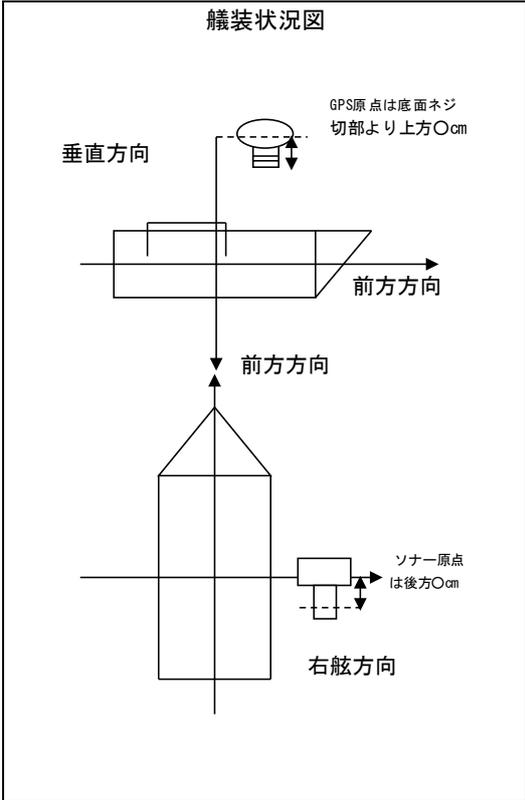
慣性ジャイロ Instlation1

単位:m	前方(X)	右舷(Y)	下方(Z)
動揺計測装置⇒基準アンテナ			

※慣性ジャイロは前方がX軸、右舷がY軸のプラス方向

慣性ジャイロ Instlation2

単位:m	前方または右舷
基準アンテナ⇒第2アンテナ	



<メモ>

表- 3.3 測深精度管理チェックシート（案）に添付する資料（5/8）

「4. 検潮記録簿」

4. 検潮記録簿

年月日		時刻	潮高(m)		時刻	潮高(m)		時刻	潮高(m)	
潮位基準面			観測値	校正値		観測値	校正値		観測値	校正値
T.P.=±0.00 (m)		5:00	0.53	0.52	10:00	-0.71	-0.71	15:00		
		5:10	0.50	0.49	10:10	-0.72	-0.72	15:10		
		5:20	0.46	0.45	10:20	-0.73	-0.72	15:20		
時刻	潮高(m)	5:30	0.42	0.41	10:30	-0.73	-0.72	15:30		
0:00		5:40	0.37	0.37	10:40	-0.71	-0.71	15:40		
1:00		5:50	0.31	0.32	10:50	-0.71	-0.70	15:50		
2:00		6:00	0.27	0.28	11:00	-0.70	-0.69	16:00		
3:00		6:10	0.22	0.23	11:10	-0.67	-0.67	16:10		
4:00		6:20	0.18	0.18	11:20	-0.65	-0.65	16:20		
5:00		6:30	0.13	0.13	11:30	-0.63	-0.63	16:30		
6:00		6:40	0.06	0.07	11:40	-0.60	-0.60	16:40		
7:00		6:50	0.02	0.02	11:50	-0.56	-0.56	16:50		
8:00		7:00	-0.04	-0.03	12:00	-0.53	-0.53	17:00		
9:00		7:10	-0.09	-0.09	12:10	-0.49	-0.49	17:10		
10:00		7:20	-0.14	-0.14	12:20	-0.45	-0.45	17:20		
11:00		7:30	-0.21	-0.19	12:30	-0.39	-0.40	17:30		
12:00		7:40	-0.25	-0.24	12:40	-0.34	-0.35	17:40		
13:00		7:50	-0.29	-0.29	12:50	-0.29	-0.30	17:50		
14:00		8:00	-0.34	-0.34	13:00	-0.24	-0.25	18:00		
15:00		8:10	-0.38	-0.39	13:10	-0.20	-0.20	18:10		
16:00		8:20	-0.43	-0.43	13:20	-0.15	-0.14	18:20		
17:00		8:30	-0.48	-0.48	13:30	-0.09	-0.09	18:30		
18:00		8:40	-0.51	-0.52	13:40	-0.04	-0.03	18:40		
19:00		8:50	-0.55	-0.55	13:50	0.03	0.03	18:50		
20:00		9:00	-0.58	-0.59	14:00	0.08	0.08	19:00		
21:00		9:10	-0.62	-0.62	14:10	0.13	0.14	19:10		
22:00		9:20	-0.64	-0.64	14:20	0.19	0.20	19:20		
23:00		9:30	-0.67	-0.67	14:30	0.26	0.25	19:30		
計		9:40	-0.69	-0.68	14:40	0.32	0.31	19:40		
平均		9:50	-0.69	-0.70	14:50	0.36	0.36	19:50		
高 潮		h m m			低 潮		h m m			
		h m m					h m m			
MEMO					読取者	〇〇	校正者	××		
現場名： 〇〇地形測量 検潮所： △△検潮所										

〇
〇
株式会社

表- 3.3 測深精度管理チェックシート（案）に添付する資料（6/8）

「5. マルチビーム測深精度管理表」①

マルチビーム測深精度確認表（照査線）				
実施測線	Co.〇〇		点検者： 〇〇 〇〇	
測定誤差の限度：海上保安庁告示第102号のとおり				
始点からの距離	水深		較差	判定
	本測	照査線	本測-照査線	
15	-5.140	-5.240	0.10	OK
20	-6.740	-6.709	-0.03	OK
25	-7.940	-7.876	-0.06	OK
30	-8.740	-8.763	0.02	OK
35	-9.140	-9.138	0.00	OK
40	-9.340	-9.335	-0.01	OK
45	-9.540	-9.514	-0.03	OK
50	-9.640	-9.641	0.00	OK
55	-9.740	-9.773	0.03	OK
60	-9.840	-9.913	0.07	OK
65	-10.140	-10.134	-0.01	OK
70	-10.540	-10.521	-0.02	OK
75	-11.040	-11.067	0.03	OK
80	-11.840	-11.806	-0.03	OK
85	-12.740	-12.710	-0.03	OK
90	-13.740	-13.747	0.01	OK
95	-14.640	-14.633	-0.01	OK
100	-14.940	-14.997	0.06	OK
105	-15.140	-15.215	0.08	OK
110	-15.140	-15.262	0.12	OK
115	-15.240	-15.367	0.13	OK
120	-15.340	-15.405	0.06	OK
125	-15.440	-15.489	0.05	OK
130	-15.540	-15.595	0.06	OK
135	-15.640	-15.667	0.03	OK
140	-15.640	-15.666	0.03	OK
145	-15.640	-15.709	0.07	OK
150	-15.640	-15.770	0.13	OK
155	-15.740	-15.795	0.06	OK
160	-15.740	-15.809	0.07	OK
165	-15.740	-15.861	0.12	OK
170	-15.840	-15.905	0.06	OK
175	-15.840	-15.890	0.05	OK
180	-15.840	-15.919	0.08	OK
185	-15.840	-15.950	0.11	OK
190	-16.040	-16.052	0.01	OK
195	-16.040	-16.080	0.04	OK
200	-16.140	-16.162	0.02	OK
205	-16.140	-16.185	0.05	OK
210	-16.140	-16.192	0.05	OK
215	-16.140	-16.209	0.07	OK
220	-16.240	-16.260	0.02	OK
225	-16.240	-16.256	0.02	OK
230	-16.240	-16.262	0.02	OK
235	-16.240	-16.335	0.09	OK
240	-16.340	-16.419	0.08	OK
245	-16.540	-16.524	-0.02	OK
250	-16.540	-16.580	0.04	OK
255	-16.540	-16.580	0.04	OK
260	-16.640	-16.684	0.04	OK
265	-16.640	-16.710	0.07	OK

表- 3.3 測深精度管理チェックシート（案）に添付する資料（7/8）

「5. マルチビーム測深精度管理表」②

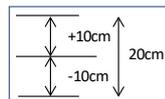
マルチビーム測深機精度管理表（井桁計測）

実施日： ○○○○年○○月○○日
 格子間隔： 0.5m

実施測線： 測線1 測線2
 測線3 測線4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0.05	0.16	0.09	0.04	0.13	0.14	0.14	0.16	0.05	0.02	0.16	0.03	0.10	0.11	0.11	0.05	0.23	0.11	0.11	0.16	0.09
1	0.10	0.11	0.13	0.04	0.10	0.06	0.14	0.14	0.09	0.14	0.11	0.09	0.12	0.18	0.14	0.16	0.17	0.12	0.17	0.05	0.11
2	0.14	0.16	0.04	0.16	0.03	0.08	0.04	0.14	0.11	0.13	0.11	0.08	0.25	0.11	0.04	0.14	0.05	0.04	0.11	0.09	0.09
3	0.11	0.11	0.15	0.12	0.17	0.13	0.15	0.14	0.12	0.11	0.06	0.17	0.04	0.15	0.17	0.15	0.04	0.10	0.17	0.17	0.14
4	0.04	0.13	0.08	0.12	0.08	0.14	0.17	0.17	0.14	0.14	0.11	0.12	0.14	0.07	0.14	0.17	0.05	0.01	0.07	0.11	0.15
5	0.13	0.13	0.00	0.12	0.08	0.15	0.16	0.14	0.12	0.13	0.10	0.05	0.18	0.09	0.05	0.05	0.05	0.11	0.05	0.03	0.08
6	0.06	0.09	0.08	0.14	0.10	0.14	0.06	0.11	0.10	0.11	0.06	0.23	0.10	0.07	0.04	0.08	0.17	0.12	0.15	0.12	0.03
7	0.07	0.14	0.12	0.06	0.15	0.07	0.17	0.12	0.09	0.14	0.07	0.07	0.08	0.05	0.03	0.06	0.16	0.13	0.07	0.12	0.09
8	0.05	0.14	0.09	0.13	0.06	0.04	0.17	0.14	0.10	0.29	0.06	0.13	0.10	0.17	0.12	0.10	0.17	0.16	0.11	0.10	0.12
9	0.09	0.04	0.10	0.03	0.05	0.11	0.13	0.15	0.12	0.14	0.11	0.16	0.06	0.13	0.08	0.11	0.09	0.12	0.08	0.13	0.11
10	0.24	0.14	0.13	0.13	0.16	0.06	0.13	0.14	0.15	0.09	0.12	0.15	0.14	0.09	0.14	0.11	0.14	0.06	0.18	0.10	0.21
11	0.14	0.13	0.13	0.09	0.16	0.17	0.18	0.13	0.15	0.09	0.14	0.07	0.14	0.11	0.12	0.10	0.05	0.07	0.13	0.05	0.10
12	0.12	0.09	0.12	0.17	0.14	0.15	0.12	0.15	0.15	0.10	0.07	0.08	0.11	0.16	0.15	0.08	0.18	0.08	0.15	0.12	0.14
13	0.18	0.17	0.15	0.08	0.18	0.12	0.17	0.12	0.09	0.13	0.18	0.11	0.07	0.12	0.05	0.14	0.05	0.14	0.14	0.14	0.09
14	0.07	0.07	0.14	0.13	0.12	0.16	0.15	0.10	0.06	0.09	0.09	0.16	0.10	0.17	0.14	0.07	0.05	0.17	0.14	0.15	0.12
15	0.11	0.14	0.11	0.12	0.17	0.13	0.11	0.12	0.13	0.07	0.10	0.13	0.14	0.07	0.12	0.14	0.12	0.14	0.10	0.11	0.09
16	0.14	0.11	0.10	0.08	0.14	0.11	0.04	0.16	0.18	0.07	0.11	0.14	0.07	0.12	0.18	0.11	0.09	0.12	0.18	0.13	0.17
17	0.11	0.05	0.18	0.07	0.17	0.11	0.14	0.06	0.13	0.17	0.12	0.06	0.07	0.14	0.15	0.18	0.14	0.18	0.07	0.14	0.15
18	0.14	0.11	0.16	0.04	0.27	0.14	0.15	0.08	0.12	0.12	0.08	0.11	0.12	0.04	0.11	0.13	0.09	0.15	0.14	0.29	0.19
19	0.14	0.12	0.09	0.16	0.06	0.15	0.05	0.13	0.14	0.09	0.03	0.16	0.13	0.11	0.14	0.05	0.08	0.15	0.07	0.08	0.11
20	0.16	0.11	0.17	0.16	0.17	0.10	0.06	0.12	0.15	0.08	0.12	0.07	0.21	0.22	0.22	0.06	0.11	0.05	0.13	0.06	0.12

評価基準 ±10 cm 達成率90%以上



= 基準を満たす
 = 基準を満たさない

格子数 21×21=441 達成率 430/441=97.5% (合格)

表- 3.3 測深精度管理チェックシート（案）に添付する資料（8/8）

「5. マルチビーム測深精度管理表」③

バーチェックによる喫水測定表

実施日：〇〇〇〇年 〇〇月 〇〇日 実施者：〇〇 〇〇

- ・ (A) バーチェック板（反射物）を垂下させ、水面を基準としたときの長さを読み取る。
- ・ (b) 同時にマルチビーム測深機のスワス断面状に表示されている、バーチェック板のソナーヘッドからの長さを読み取る。
- ・ (B) 同じ計測を3回行い、平均値を算出する
- ・ 垂下長 (A) から平均値 (B) を引いた値を喫水値 (C) とする。

	(A) 垂下長	(b) 計測値	喫水値 (C) = 垂下長 (A) - 計測値平均 (B)
1 回目	2. 00 m	0. 86 m	(C) = (A) - (B) = 2. 00 - 0. 85 = 1. 15 (m)
2 回目		0. 85 m	
3 回目		0. 84 m	
平均 (B)		0. 85 m	喫水 (C) : 1. 15 m

(様式)

日付： 年 月 日

業務名：

受注機関：

作成者：

3次元設計データチェックシート（案）

項目	対象	内容	点検結果
1) 平面線形	全延長	①起点・終点の座標は正しいか	
		②法面余掘、底面余掘等の変化点の座標は正しいか	
		③その他、構造物等の座標は正しいか	
2) 縦断面形状	全延長	①縦断面形状の起点・終点の水深は正しいか	
		②縦断変化点の水深は正しいか	
		③その他、構造物等の水深は正しいか	
3) 横断面形状	全延長	①横断面形状の起点・終点の位置は正しいか	
		②作成した横断面形状は正確に反映されているか	
		③法面余掘幅、底面余掘厚等、水深は正しいか	
4) 3次元設計データ	3次元	①入力した 1)～3)の幾何形状と出力する3次元設計データは同一となっているか	

※1 各チェック項目について、チェック結果欄に○または×を記すこと。

※2 上記を確認した際に用いた下記資料もあわせて提出すること。

- ・数量算出断面資料
- ・平面図
- ・縦断図
- ・横断図

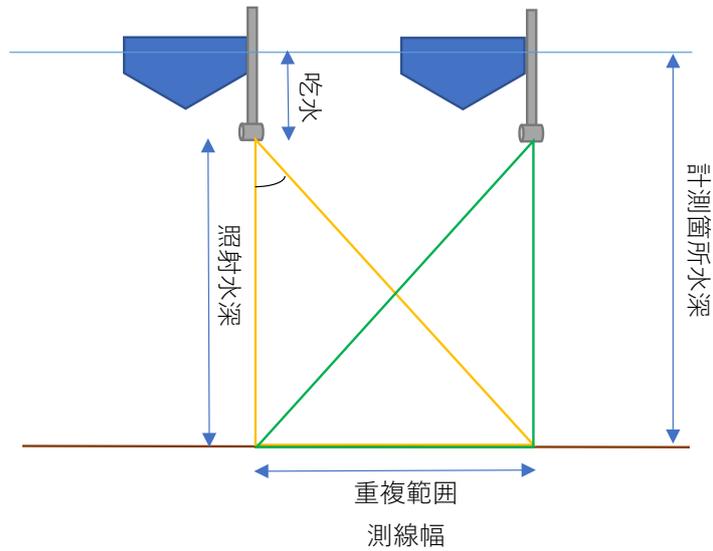
※上記以外に分かりやすい資料がある場合は、これに替えることができる。

<CUBE 処理を行う場合に参考となる設定項目等>

補再測確認シート

計測時設定値		
項目	設定値	規定・推奨値
スワ幅		±55度以下
発振数		
測線間隔		重複率100%以上
ビーム数		256ビーム以上
吃水		

CUBE設定値	
グリッドサイズ	



※サーフェスチェック

項目	規定値
Density	5点以上 (達成率95%以上)

※異常物の有無

直上測線を計測しているか。

シングルビーム或いはウォーターカラムデータを計測しているか。

補再測メモ

CUBE処理設定確認シート

CUBE処理設定値

項目		設定値	規定・推奨値
グリッドサイズ			下表
パラメータ	hes		1.96
	de		2.00
IHO基準			1a級

艙装機器	項目	メーカー名	機器名	メーカー精度	設定値
Navigation	性能				
	精度				
	間隔				
Gyro/Heading	性能				
	精度				
	間隔				
Heave	性能				
	精度				
	間隔				
Roll & Pitch	性能				
	精度				
	間隔				
Sonar	性能				
	精度				
	間隔				
音速度計	性能				
	精度				
	間隔				
潮位	性能				
	精度				
	間隔				
オフセット	精度				
吃水	精度				
船速	精度				

水深区分によるグリッドサイズ

水深	グリッドサイズ
0-10m	0.25m
10-20m	0.5m
20-40m	1m

CUBE処理チェックシート

	回目
--	----

※データ適用、設定の確認

番号	確認項目	判定
1	TPU設定値がもれなく入力されているか。	
2	オフセット値が正しく入力されているか。	
3	音速度、潮位補正データが適用されているか。	
4	後処理測位が適用されているか。	
5	グリッドサイズが適切に設定されているか。	
6	出力（表示）したCUBE水深とグリッドサイズが整合しているか。	
7	点密度(Density)が規定以上に確保されているか。	

※処理結果に基づく確認

番号	確認項目	判定
8	水深段彩図より地形に変化がある箇所を確認	
9	仮説水深が複数発生した箇所の確認	
10	仮説強度で0以外の数値となった箇所の確認	
11	計算に使用したデータの最浅値と中央値の差が大きい箇所を確認	
12	標準偏差で周囲と差の大きな箇所を確認	
13	Uncertaintyで最大となる箇所を確認	
14	Uncertaintyで周囲と変化の大きい箇所を確認	

※精度検証

番号	確認項目	判定
15	照査線による精度検証	
16	CUBE水深のUncertaintyのTVUが規定を満たしているか。	

※異常物の処理

番号	確認項目	判定
17	異常物データの最浅値を復活したか。	
18	異常物リストの作成	

※データ出力

番号	確認項目	判定
19	CUBE-LMDの作成	
20	出力データに隙間がないか。	
21	FT-LMDの作成	
22	MergeCUBE-LMDの作成	

※判定によりノイズ処理を行った場合は、処理後のデータを使用して再度CUBE処理を行う。