

楕円体基準水深測定の瀬戸内海における精度検証と後処理キネマティック解析に使用する電子基準点の配置の違いによる影響評価[†]

高畑亮太^{*1}, 小林研太^{*2}, 野元翔太^{*3}, 松本良浩^{*4}, 堀内大嗣^{*5}

Verification of ellipsoidally referenced surveys at the Seto Inland Sea and the effect of PPK
(Post Processing Kinematic) base station arrangements on the precision of the sounding depths[†]

Ryota TAKAHATA^{*1}, Kenta KOBAYASHI^{*2}, Shota NOMOTO^{*3}, Yoshihiro MATSUMOTO^{*4},
and Daishi HORIUCHI^{*5}

Abstract

In ellipsoidally referenced surveys (ERS), an optimal GNSS base station arrangement for Post Processing Kinematic (PPK) may be unachievable depending on the location of the survey area. In this paper, after the verification of the ERS bathymetry in Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea, obtained by the procedure of Shiozawa et al. (2023), we performed some trial analyses with several modified base station arrangements to observe the effect of the arrangement on the precision of the sounding depths.

The result shows that, if no array of four base stations, either spatially balanced or unbalanced, can be arranged at adequate distances from the survey area, then PPK using either

- a spatially balanced array of four base stations at longer distances from the survey area, or
- a single base station at an adequate distance from the survey area

will derive adequate ERS bathymetry.

1 はじめに

潮高改正量を求めるための同時験潮を伴わない新たな水深測定の方法として楕円体基準水深測量が近年諸外国で導入されており、日本でも導入のための検証が進められている（大久保・他, 2022, 塩澤・他, 2023）（以下、潮高改正を要す

る従来処理を潮高処理、楕円体基準の最低水面モデルを用いた測深データ処理を楕円体処理という。）。これらの検証結果から、楕円体処理の基本的な測深データ処理手順が確立され、本手順の確立により、技術的には最低水面モデルさえあれば、楕円体処理により水深が導出可能となった

[†] Received August 23, 2024; Accepted November 7, 2024

* 1 第九管区海上保安本部 海洋情報部 Hydrographic and Oceanographic Department, 9th Regional Coast Guard Headquarters

* 2 沿岸調査課 Coastal Surveys Division

* 3 企画課 Administration and Planning Division

* 4 第三管区海上保安本部 海洋情報部 Hydrographic and Oceanographic Department, 3rd Regional Coast Guard Headquarters

* 5 海上保安大学校 海事工学講座 Department of Maritime Science and Technology, Japan Coast Guard Academy

(Fig. 1). 楕円体処理により導出される水深は、令和 7 (2025) 年度から水路測量において採用できるように、関連規則の整備作業及び港湾局を中心とした関係行政機関や大学などの研究機関で構成される検討会においても議論が進められている。

当庁は、マルチビーム音響測深データの迅速な品質管理（測深データからのノイズ判別や海底特徴物の検出を指す）のため、GNSS 慣性航法システムを使用した際には後処理キネマティック解析（測位・動揺データの高精度化）を採用しており、後処理キネマティック解析の手法として、スマートベース解析（複数の電子基準点を採用し解析する手法）を推奨している。後処理キネマティック解析により、楕円体処理を行う際に重要となる鉛直位置についても高精度化が可能となっている（住吉・他、2019）。

一方、調査海域によっては、後処理キネマティック解析に使用する電子基準点の配置が理想的ではないことがある（電子基準点が調査海域から遠く離れた場所にしか存在しない、偏った配置となる、近傍に 1 箇所しか存在しない）。これらの状況が、楕円体処理水深にどの程度影響を与えるのか把握することは、今後、水深測量の計画・調査を行うために非常に重要である。

今回は、呉港付近海域において、最低水面モデ

ルを作成し、楕円体処理水深の妥当性について確認した後に、後処理キネマティック解析に使用する電子基準点の配置を変化させることで、楕円体処理水深がどのように変化するのか影響を評価した結果について報告する。尚、楕円体処理水深については、統計的解析手法である CUBE 処理を行った CUBE 水深を使用した。

2 楕円体基準のデータ処理

2.1 使用データと調査海域

本稿では、令和 5 (2023) 年 6 月 26 日から 6 月 30 日に第六管区海上保安本部の測量船「くるしま」で取得したマルチビーム測深データを使用した。調査海域は、呉験潮所から 1 ～ 5 km 程度離れた、吉浦湾、呉港、オードノ礁付近の 3 箇所の海域とした (Fig. 2)。なお、吉浦湾は斜面、呉港は突起物（ブイのアンカー）、オードノ礁付近は漁礁とそれぞれ特徴的な地形や地物を含んでいる。後処理キネマティック解析に使用する電子基準点の配置を変化させることで、楕円体処理水深がどのように変化するのか比較するためのデータはオードノ礁付近海域のデータを使用した。

測線長は 200 m、測深面積は 0.04 km²、平坦面・斜面（異常物）を含むよう海域を設定した。

測深機は R2Sonic 社製 Sonic2024DH、測位・

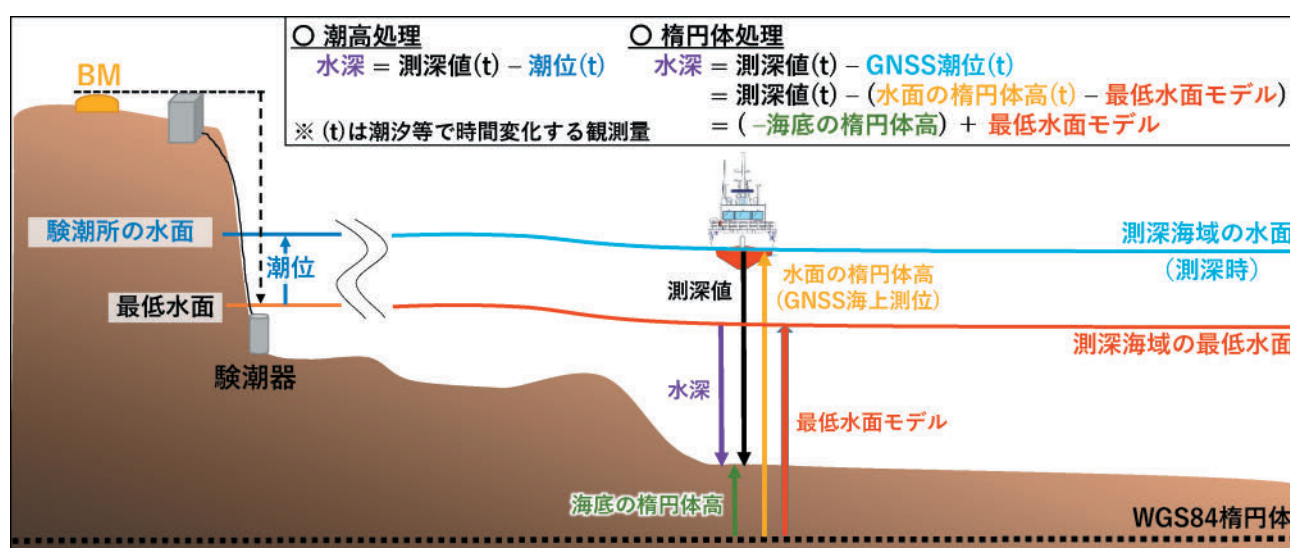


Fig. 1. Overview of the ellipsoidally referenced surveys (ERS).

図 1. 楕円体基準水深測量の概要。



Fig. 2. Location map of the surveyed areas and the Kure tide station.

図 2. 調査実施海域と呉験潮所の位置.

動揺検出器はApplanix社製POS/MV Wave Master II, 水中音速度計はAML Oceanographic社製Smart X SVP, 表層音速度計はAML Oceanographic社製Micro X SV, 測深データ収録ソフトウェアはHYPACK社製HYPACK2019を使用した. 楕円体処理水深の妥当性を確認するために使用する潮高処理の潮位データは, 呉験潮所の実測値を使用した. 調査条件は周波数左 400 kHz/ 右 320 kHz, スワス角 110° (100%オーバーラップ), 船速 7 knot で実施した.

2.2 最低水面モデルの作成

最低水面モデルの空間解像度は, 緯度 6 秒×経度 6 秒とした. 以下では, 本研究における最低水面モデルの具体的な作成方法を示す.

2.2.1 平均水面高度の算出

対象区域の平均水面の楕円体高を求めるため

に, まず周辺の常設験潮所 (現場海域至近の呉, 潮位年報に掲載されている常設験潮所のうち調査海域を囲むよう広島, 徳山及び松山) における平均水面の標高 (以下, 平均水面高度という.) を算出した. 呉, 広島及び徳山の値は, 潮位年報 2017 年, 2019 年～2022 年版 (海岸昇降検知センター, 2017, 2019, 2020, 2021, 2022) に記載された 5 年分の年平均潮位データの平均値と観測基準面のジオイドからの高さの平均値の和として求めた (2018 年は広島で 3 か月欠測のため不採用とした.). 松山の値は, 験潮所最寄りの電子基準点「伊予」の楕円体高の元期と今期の値を比較したところ差が 16 cm と大きかったため, 地盤変動の影響を考慮するため, 潮位年報 2017 年, 2019 年～2022 年版 (海岸昇降検知センター, 2017, 2019, 2020, 2021, 2022) に記載された 5 年分の年平均潮位データの平均値と「伊予」の F5 解 (国土地理院の「日々の座標値」からダウンロード) を使用し算出した観測基準面のジオイドからの高さ (地盤変動補正後) の平均値の和として求めた. それぞれ, 呉で 0.21 m, 広島で 0.27 m, 徳山で 0.26 m, 松山で 0.30 m であった (Fig. 3). 4 箇所の常設験潮所の平均水面高度から, 平均水

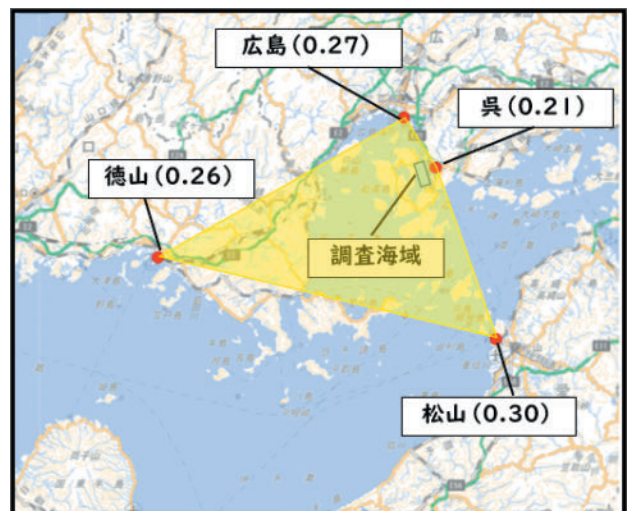


Fig. 3. The area of the vertical datum model and the mean sea level heights above geoid at the permanent tide stations [m].

図 3. 最低水面モデルの対象区域と常設験潮所の平均水面高度 [m].

面高度の TIN を作成した。

2.2.2 ジオイド・モデルの選定及び点検

ジオイド高の空間モデル（以下、ジオイド・モデルという。）は国土地理院の「日本のジオイド 2011 (Ver. 2.1)」を使用し作成した。データの間隔は、最低水面モデルと同じ緯度 6 秒×経度 6 秒とした。

また、ジオイド・モデルの点検のために、国土地理院の「基準点成果等閲覧サービス」に記載されている「江田島」の電子基準点の楕円体高 (57.42 m) から電子基準点のジオイドからの高さ (24.55 m) を引いて求めたジオイド高の実測値 (32.87 m) と、同一場所のジオイド・モデルの値

(32.89 m) を比較した。ジオイド・モデルの値との残差は +0.02 m と十分に小さく、本海域におけるジオイド・モデルの精度について問題はないと考えられる。

2.2.3 平均水面モデルの作成

対象区域の平均水面の楕円体高（以下、平均水面モデルという。）は、上記 2.2.1 項の平均水面高度に 2.2.2 項のジオイド・モデルを足し合わせることで求めた (Fig. 4)。

2.2.4 最低水面モデルの作成

最低水面モデルは、上記 2.2.3 項で求めた平均水面モデルから Z_0 を引くことで求めた (Fig. 5)。

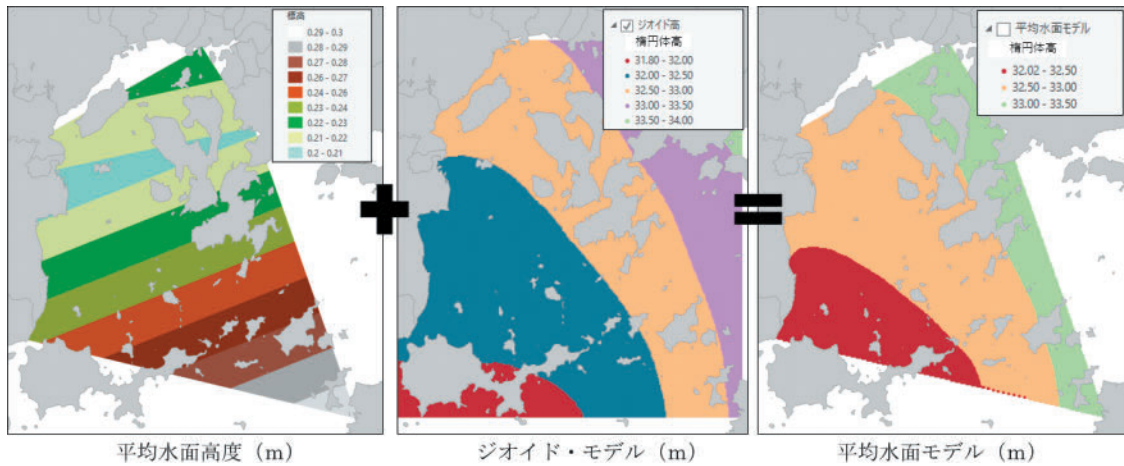


Fig. 4. Calculation of the ellipsoidally referenced mean sea levels [m].

図 4. 平均水面モデル (平均水面高度 + ジオイド・モデル = 平均水面モデル)。

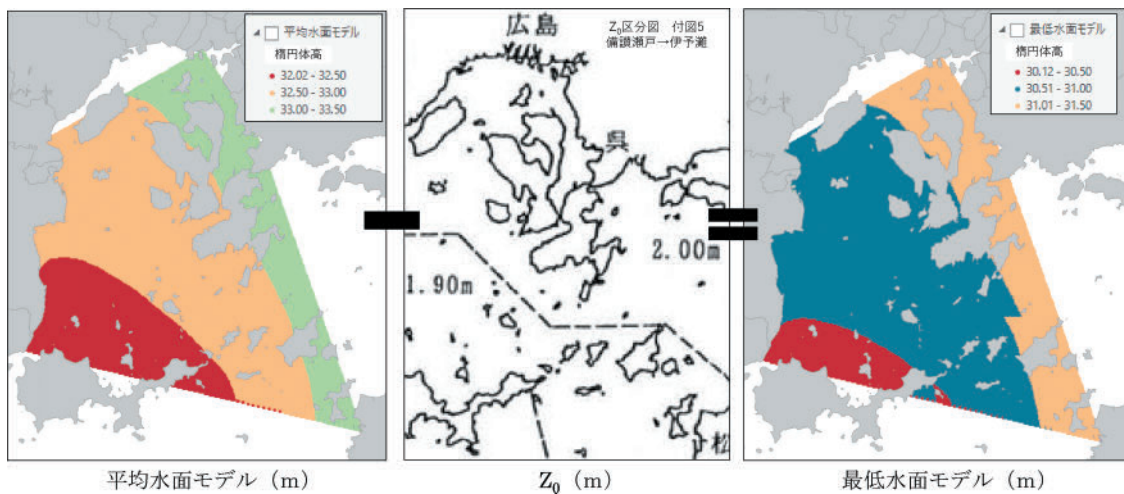


Fig. 5. Calculation of the vertical datum model [m].

図 5. 最低水面モデル (平均水面モデル - Z_0 = 最低水面モデル)。

本研究における Z_0 の値は、海上保安庁の平均水面、最高水面及び最低水面一覧表（以下、平均水面等一覧表という。）に掲載されている「付図5 備讃瀬戸→伊予灘 Z_0 区分図」を使用した。

また、最低水面モデルの点検のため、平均水面等一覧表に記載された最低水面の楕円体高と比較したところ、最大 +6 cm といずれも 10 cm 以上の差はなかった。

2.3 後処理キネマティック解析

POS/MV の測位・動揺の統合キネマティック解析は、Applanix 社製 POSpac MMS 6.2（以下、PosPac という。）を使用し、スマートベース解析を採用した。検証については、シングルベース解析も採用した。本解析手順の詳細については、住吉・他（2019）を参照されたい。

Fig. 6 は、測量船の航跡と使用した電子基準点の配置を示す。電子基準点データは、調査海域から約 15 km までの距離に位置する「広島熊野」

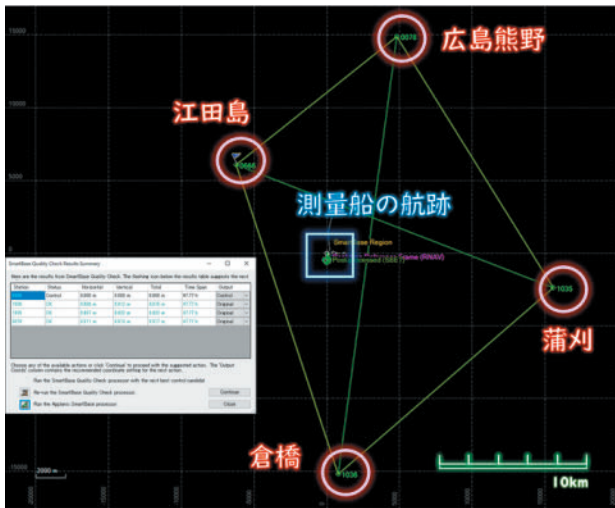


Fig. 6. Screenshots of kinematic processing of positioning and motion data in POSpac MMS 6.2. The points circled in red indicate the GNSS CORSS used for the processing. The track lines of the survey vessel are shown inside the blue square.

図 6. 測位・動揺データのキネマティック解析画面 (POSPac MMS 6.2)。赤丸で囲まれた点は解析に使用した電子基準点を示す。青い四角で囲まれた部分は測量船の航跡を示す。

「蒲刈」, 「倉橋」, 「江田島」の 4 点（以下、調査海域を囲む近傍の 4 点の電子基準点という。）の RINEX データ（30 秒値）を国土地理院の「電子基準点データ提供サービス」からダウンロードして使用した。Table 1 には、電子基準点の測地成果を示す。電子基準点の測地成果は、国土地理院の「基準点成果等閲覧サービス」の情報を使用した。電子基準点の測地成果を POSpac に取り込む際は測地成果の元期の座標値を今期にセミダイナミック補正した座標値を使用した（国土地理院の「SemiDynaEXE Ver.1.0.1」を使用）。

続いて、本解析により得られた高精度の測位・動揺データの妥当性を点検した。測位・動揺データを統合解析する過程で計算される、POS/MV 原点（本システムでは、IMU 参照点）から Primary GNSS アンテナまでのレバーアームオフセット値を Table 2 に示す。測量データセット毎の最終値には 0.05 m 以内と十分な再現性があることが確かめられた（6 月 27 日①のみ初期値からの差分が 0.05 m を上回っているが、同一海域を測深した 6 月 28 日②及び 6 月 29 日④と、得られた水深値を比較したところ、大きな差は見られず、問題はないと判断した）。この結果から、後処理キネマティック解析が適切であったことが示唆される。

2.4 測深データ処理

測深データの処理フローを Fig. 7 に示す。本研究では、楕円体処理水深の妥当性を確かめるため、潮高処理による水深と比較検証した。データ処理ソフトウェアは Teledyne Geospatial 社製 CARIS HIPS and SIPS 11.4 を使用した。本処理手順の詳細については、大久保・他（2022）を参照されたい。

潮高処理における現場海域の潮位データは、呉験潮所の観測潮位データを使用した。

3 検証結果

楕円体処理水深や GNSS 潮位の妥当性を評価するため、精度検証を行った。妥当性について確

Table 1. Coordinates of the GNSS Continuously Operating Reference Stations (GNSS CORSs) used in PPK.

表 1. 後処理キネマティック解析で使用した電子基準点の座標値.

No.	電子基準点 観測番号	基準点名	基準点成果等閲覧サービス								基準点成果 (SemiDyNoEXE Ver.1.1 適用後)								差分 (元期-今期)		
			北緯 [DMS]		東経 [DMS]		楕円体高 [m]	測地成果年 (元期)	北緯 [DMS]		東経 [DMS]		楕円体高 [m]	測地成果年 (今期)	北緯 (差) [m]	東経 (差) [m]	楕円体高 (差) [m]				
1	940078	広島熊野	34	20	25.2755	132	34	31.5739	293.9	2011	34	20	25.27068	132	34	31.59602	293.942	2023	0.149	-0.565	-0.042
2	960666	江田島	34	15	39.3223	132	27	19.9552	57.42	2011	34	15	39.31736	132	27	19.97621	57.448	2023	0.152	-0.649	-0.028
3	021035	蒲刈	34	11	4.6914	132	41	31.0511	40.62	2011	34	11	4.68825	132	41	31.07079	40.705	2023	0.097	-0.608	-0.085
4	021036	倉橋	34	4	9.2350	132	31	53.8594	40.66	2011	34	4	9.23177	132	31	53.87768	40.745	2023	0.100	-0.564	-0.085
5	950400	千代田	34	40	43.7398	132	32	24.8561	311.22	2011	34	40	43.73252	132	32	24.87904	311.194	2023	0.225	-0.708	0.026
6	950410	錦	34	15	32.6956	131	57	11.8248	158.56	2011	34	15	32.68959	131	57	11.84717	158.562	2023	0.186	-0.690	-0.002
7	950434	伊予	33	43	21.3519	132	41	2.2860	89.14	2011	33	43	21.34921	132	41	2.29650	89.297	2023	0.083	-0.324	-0.157
8	960678	弓削	34	15	8.8061	133	11	20.7514	58.34	2011	34	15	8.80321	133	11	20.77118	58.415	2023	0.089	-0.611	-0.075
9	071157	広島2A	34	23	49.3752	132	20	23.3420	217.55	2011	34	23	49.36967	132	20	23.36479	217.567	2023	0.171	-0.703	-0.017
10	960665	広島佐伯	34	22	13.2497	132	11	40.7421	401.83	2011	34	22	13.24453	132	11	40.76484	401.846	2023	0.160	-0.702	-0.016
11	960769	和木	34	11	28.2528	132	13	8.8859	174.19	2011	34	11	28.24718	132	13	8.90578	174.215	2023	0.173	-0.614	-0.025
12	071164	戸河内A	34	34	31.5617	132	16	7.7116	273.71	2011	34	34	31.55530	132	16	7.73553	273.700	2023	0.198	-0.739	0.010
13	950405	三原	34	22	43.2636	133	0	35.2700	61.26	2011	34	22	43.25874	133	0	35.29164	61.306	2023	0.150	-0.668	-0.046
14	950402	豊栄	34	34	16.6872	132	49	26.3944	426.49	2011	34	34	16.68122	132	49	26.41796	426.522	2023	0.185	-0.727	-0.032

Table 2. The XYZ distances from the lever arm offset origin to the primary GNSS antenna converged in each PPK and their difference from the initial values.

表 2. 各後処理キネマティック解析において収束したレバーアームオフセット原点からプライマリ GNSS アンテナまでの XYZ 距離とその初期値からの差分.

Ref to PriGNSS レバーアームオフセット [m]		初期 値	2023/6/26			2023/6/27		2023/6/28		2023/6/29				2023/6/30		
			①	②	③	①	②	①	②	①	②	③	④	①	②	③
	X (Forward)	1.060	1.053	1.088	1.051	1.320	1.049	1.067	1.064	1.053	1.069	1.071	1.058	1.015	1.042	1.084
	Y (Starboard)	-0.529	-0.502	-0.550	-0.489	-0.685	-0.507	-0.511	-0.492	-0.507	-0.490	-0.483	-0.507	-0.514	-0.494	-0.497
	Z (Downward)	-4.028	-4.007	-4.032	-4.017	-4.035	-4.013	-4.015	-4.032	-3.997	-4.074	-4.016	-4.075	-4.040	-4.042	-4.046
初期 値からの 差分	X (Forward)		0.007	-0.028	0.009	-0.260	0.011	-0.007	-0.004	0.007	-0.009	-0.011	0.002	0.045	0.018	-0.024
	Y (Starboard)		-0.027	0.021	-0.040	0.156	-0.022	-0.018	-0.037	-0.022	-0.039	-0.046	-0.022	-0.015	-0.035	-0.032
	Z (Downward)		-0.021	0.004	-0.011	0.007	-0.015	-0.013	0.004	-0.031	0.046	-0.012	0.047	0.012	0.014	0.018

認した後に、後処理キネマティック解析において使用する電子基準点の配置を変化させることで、楕円体処理水深がどのように変化するかを比較した結果について報告する。

3.1 楕円体処理水深の精度検証

3.1.1 潮高処理水深との比較検証

潮高処理水深を基準とした、楕円体処理の相対的な水深差分を Fig. 8 に示す。どの海域においても、楕円体処理水深と潮高処理水深との差は海上保安庁 (2009) の定める特級の水域の深さの測定の不確かさの限度 (以下、特級の不確かさの限度という.) と比較して1桁程度小さかった (調査水深 17 m における不確かさの限度は 0.28 m)。

3.1.2 照査線を用いた水深の内部誤差の検証

楕円体処理と潮高処理それぞれの方法で得た水深について、照査線を用いた水深の内部誤差を Table 3 に示す。いずれも、特級の不確かさの限度と比較して1桁程度小さかった。標準偏差については、楕円体処理の方がやや大きなばらつきが見られた。

3.1.3 GNSS 潮位の精度検証

GNSS 潮位 (1 Hz 値) と、験潮所において取得した水位データから求めた潮位 (5 分値; 以下験潮潮位という.) の経時変化を Fig. 9 に示す。Fig. 9 において、潮位が表示されていない箇所は、測量船の回頭中などの測深データを取得していなかった時である。験潮潮位が正しいと仮定した場合

合の GNSS 潮位の系統誤差は ± 0.10 m 程度で、
 験潮潮位とよく一致していた。一方で、験潮潮位
 よりも GNSS 潮位の方が値の変動が大きく、
 ± 0.05 m 程度の偶然誤差が見られた。

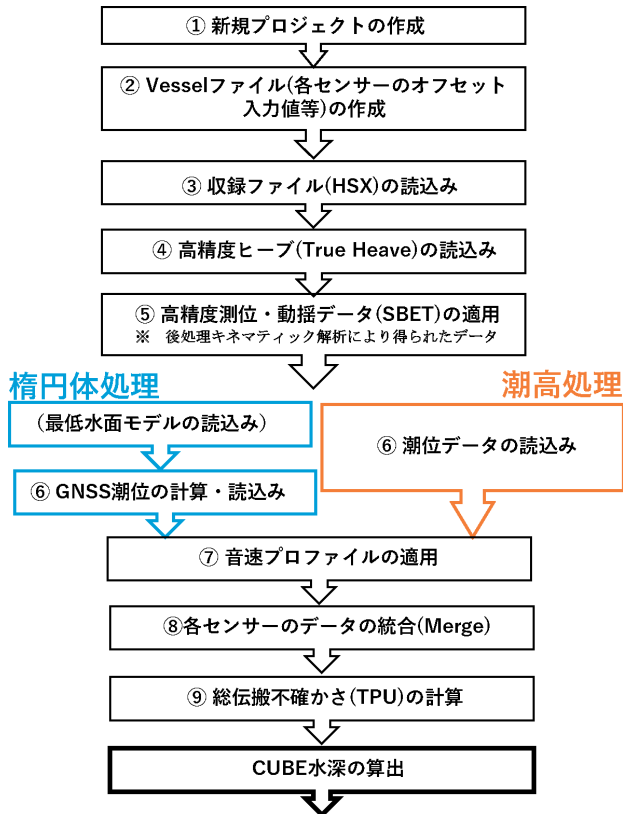


Fig. 7. Bathymetric data processing workflow in ERS and conventional survey with tide correction.

図7. 楕円体処理と潮高処理における測深データ処理
 フロー。

Table 3. Internal errors of each bathymetry by ERS and conventional survey with tide correction (bathymetric difference of the main survey lines relative to the cross line).

表3. 楕円体・潮高の各処理における水深の内部誤差
 (各照査線に対する主測線の水深誤差)。

データ処理方法	海域	水深の内部誤差 (m)	標準偏差 (m)
楕円体処理 (最低水面モデル)	吉浦湾	-0.04	0.04
	呉港	0.04	0.05
	オードノ礁付近	-0.02	0.09
潮高処理	吉浦湾	0.00	0.02
	呉港	0.00	0.02
	オードノ礁付近	-0.01	0.09

3.2 後処理キネマティック解析に使用する電子 基準点の配置の違いによる楕円体処理水深 への影響

前節までの結果は、調査海域を囲む近傍の4点
 の電子基準点を使用して後処理キネマティック解
 析を行ったものであり、約15 km までという距
 離や空間分布の点で理想に近い基準点配置を採用
 できた事例といえる。この結果のうち、6月28
 日のオードノ礁付近のデータを基準として、以下
 の節では同日同海域のデータを用いるが、採用す
 る電子基準点の配置を変えることにより、楕円体
 処理水深への影響を比較した。

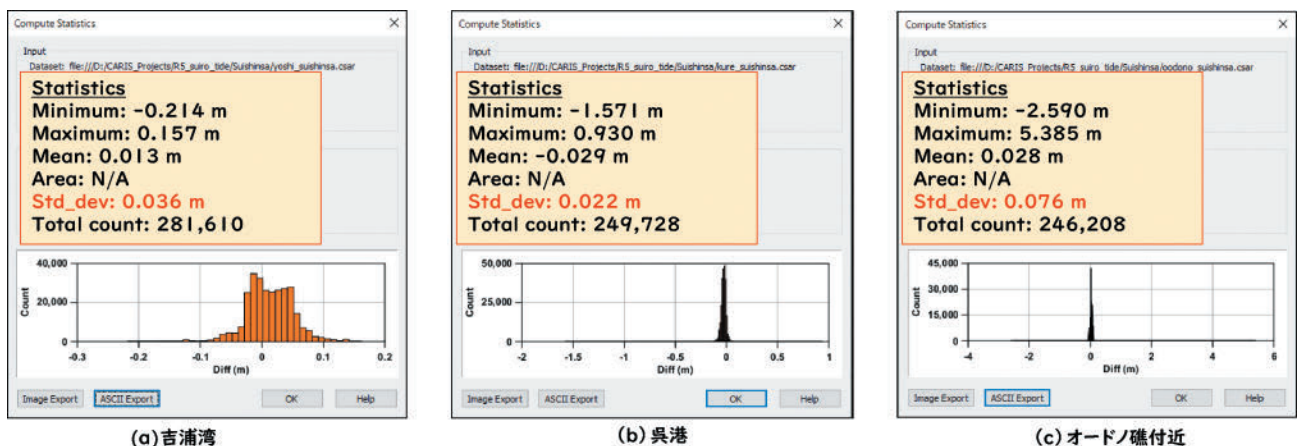


Fig. 8. The difference of ERS depths relative to the depths derived from conventional survey with tide correction.

(a) Yoshiura, (b) Kure, and (c) Oodono.

図8. 潮高処理水深を基準とした相対的な水深差分。(a) 吉浦湾, (b) 呉港, (c) オードノ礁付近。

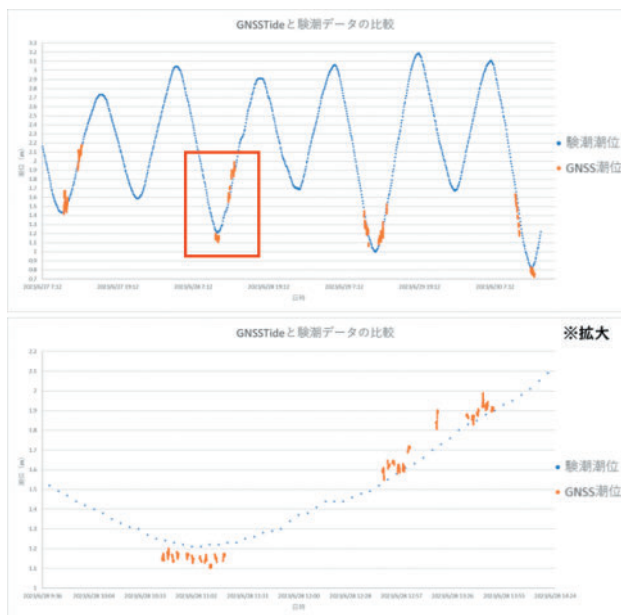


Fig. 9. Comparison of GNSS tide measured aboard to the tide level at the tide station. The bottom figure is a magnified view of the red rectangular area.

図 9. 船上 GNSS 潮位と、験潮所潮位の比較。下図は拡大図。

3.2.1 調査海域を囲む遠方の 4 点の電子基準点を使用することによる楕円体処理水深への影響

調査海域を約 60 km の距離で囲む遠方の 4 点の電子基準点（弓削、千代田、錦、伊予）(Fig. 10) の配置で、後処理キネマティック解析を行った。基準との相対的な水深差は特級の不確かさの限度と比較して 1 桁程度小さかった (Table 4)。照査線を用いた水深の内部誤差は特級の不確かさの限度と比較して 1 桁程度小さく、標準偏差は同程度であった (Table 5)。

3.2.2 調査海域片側の 4 点の電子基準点を使用することによる楕円体処理水深への影響

調査海域片側近傍（約 30 km）の 4 点の電子基準点（広島熊野、広島 2A、広島佐伯、和木）(Fig. 11) と調査海域片側遠方（約 60 km）の 4 点の電子基準点（三原、豊栄、戸河内 A、錦）(Fig. 12) の 2 パターンの配置で、後処理キネマティック解析を行った。調査海域片側近傍の 4 点



Fig. 10. Used GNSS CORSs: a spatially balanced array of four base stations at longer distances from the survey area.

図 10. 調査海域を囲む遠方 4 点の組み合わせで使用した電子基準点。

Table 4. The effect of PPK (Post Processing Kinematic) base station arrangements on precision of the sounding depths obtained by ERS.

表 4. 後処理キネマティック解析に使用する電子基準点の配置の違いによる取得水深への影響。

配置	基準との水深差 (基準-各配置)		観測海域と電子基準点の距離	
	Mean	Std. dev	最も近い基準点	最も遠い基準点
調査海域を囲む 4 点 ※調査海域から近い	-0.04 m	0.13 m	49km	62km
調査海域片側の 4 点 ※調査海域から近い	0.00 m	0.05m	13km	34km
調査海域片側の 4 点 ※調査海域から遠い	-0.08 m	0.08 m	45km	58km
調査海域付近の 1 点 ※調査海域から近い	0.04 m	0.04 m	6km	同左
調査海域付近の 1 点 ※調査海域から遠い	-0.21 m	0.08 m	58km	同左

Table 5. Internal errors of each bathymetry by PPK (bathymetric difference of the main survey lines to the cross line).

表 5. 各後処理キネマティック解析による水深の内部誤差（各照査線に対する主測線の水深誤差）。

配置	水深の内部誤差 (m)	標準偏差 (m)
調査海域を囲む 4 点 ※調査海域から近い (約 15km)	-0.02	0.09
調査海域を囲む 4 点 ※調査海域から遠い (約 60km)	0.02	0.14
調査海域片側の 4 点 ※調査海域から近い (約 30km)	0.08	0.09
調査海域片側の 4 点 ※調査海域から遠い (約 60km)	0.12	0.10
調査海域付近の 1 点 ※調査海域から近い (約 10km)	-0.01	0.10
調査海域付近の 1 点 ※調査海域から遠い (約 60km)	0.03	0.10



Fig. 11. Used GNSS CORSs: an unbalanced array of four base stations at adequate distances from the survey area.

図 11. 調査海域の片側近傍 4 点の組み合わせで使用した電子基準点.



Fig. 13. Used GNSS CORS: single station at an adequate distance from the survey area.

図 13. 調査海域の近傍 1 点のみ使用した電子基準点.

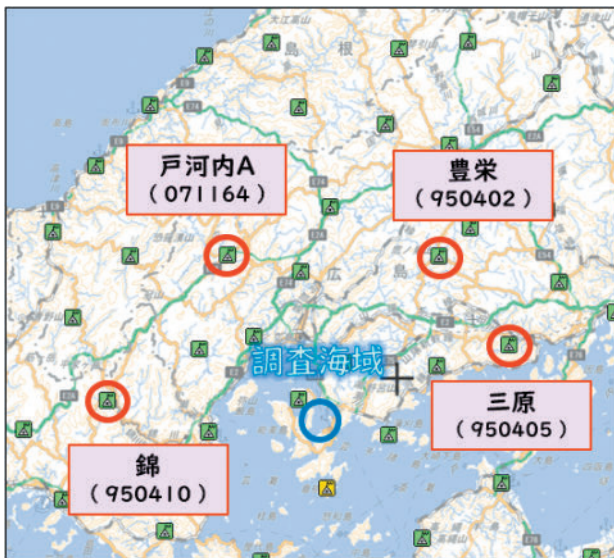


Fig. 12. Used GNSS CORSs: an unbalanced array of four base stations at longer distances from the survey area.

図 12. 調査海域の片側遠方 4 点の組み合わせで使用した電子基準点.

の電子基準点の配置における基準との相対的な水深差は特級の不確かさの限度と比較して 1 桁程度小さかった (Table 4). 照査線を用いた水深の内部誤差は特級の不確かさの限度と比較して 1 桁程度小さかった (Table 5). 標準偏差のばらつきは

同程度であった. 調査海域片側遠方の 4 点の電子基準点の配置における基準との相対的な水深差は特級の不確かさの限度と比較して 1 桁程度小さかった (Table 4). 照査線を用いた水深の内部誤差は特級の不確かさの限度と比較して 5 割程度小さく, 標準偏差は同程度であった (Table 5). 以上の結果から, 遠方の電子基準点を使用することで水平方向の精度が劣化していると考えられる.

3.2.3 調査海域付近の 1 点の電子基準点を使用することによる楕円体処理水深への影響

調査海域近傍 (約 10 km) の 1 点の電子基準点 (江田島) (Fig. 13) と調査海域遠方 (約 60 km) の 1 点の電子基準点 (伊予) (Fig. 14) の 2 パターンの配置で, 後処理キネマティック解析を行った. 調査海域近傍の 1 点の電子基準点の配置における基準との相対的な水深差は特級の不確かさの限度と比較して 1 桁程度小さかった (Table 4). 照査線を用いた水深の内部誤差は特級の不確かさの限度と比較して 1 桁程度小さく, 標準偏差は同程度であった (Table 5). 調査海域遠方 (約 60 km) の 1 点の電子基準点の配置における基準との相対的な水深差は特級の不確かさの限度と比較して同程度と大きかった (Table 4). 照査線を用

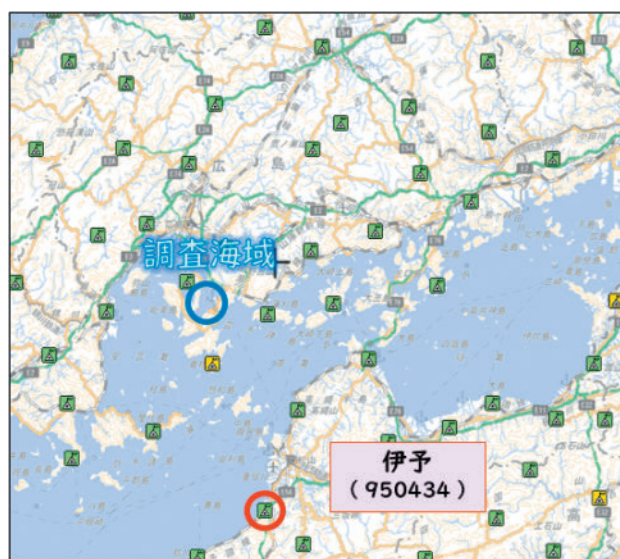


Fig. 14. Used GNSS CORS: single station at a longer distance from the survey area.

図 14. 調査海域の遠方 1 点のみ使用した電子基準点.

いた水深の内部誤差は特級の不確かさの限度と比較して 1 桁程度小さかった (Table 5). 標準偏差のばらつきは同程度であった. 以上の結果から, 遠方の電子基準点を使用することで水平方向の精度が劣化していると考えられる.

4 考察・結論

今回, 調査海域を囲む近傍の 4 点の電子基準点を使用した測量において, 潮高処理水深と楕円体処理水深との差は, 特級の不確かさの限度と比較して 1 桁程度小さい水準であり, 楕円体処理が妥当であることが確認された. 照査線を用いた水深の内部誤差の検証結果から, 楕円体処理水深は, 平均的には, 潮高処理水深と同等に再現性が高いことが確認された. 他方で, 潮高処理水深に比べてばらつきがやや大きくなることが確認されたが, このばらつきは, 験潮潮位が正しいと仮定した場合の GNSS 潮位の系統誤差とほぼ同等であることから, 主に GNSS の鉛直方向の測位精度によるものであると考えられる. GNSS 潮位の精度検証から, GNSS 潮位には 0.05 m 程度の偶然誤差が見られたが, これは GNSS の鉛直方向の測位誤差や動揺検出器の計測誤差等に起因すると考えられる. これらの結果より, 瀬戸内海 (広島

湾) での結果においても, 楕円体処理が有効に機能することが確かめられた.

次に, 後処理キネマティック解析に使用する電子基準点の配置の違いにより, 楕円体処理水深がどのように変化するのか比較した結果, 調査海域片側近傍の 4 点の電子基準点を使用する, 調査海域近傍 1 点の電子基準点を使用する, の 2 パターンの配置であっても, 妥当な楕円体処理水深が得られることが示された. それぞれの配置で使用する電子基準点の距離を約 50 km 離れた条件で比較したところ, 調査海域を囲む遠方の 4 点の電子基準点を使用する配置であっても, 妥当な楕円体処理水深が得られることが示された. 照査線を用いた水深の内部誤差の検証結果からも同等の水深が得られることが確認された. 調査海域片側遠方の 4 点の電子基準点を使用する, 調査海域遠方の 1 点の電子基準点を使用する, の 2 パターンの配置においては, 相対的な水深差が大きくなり推奨できない結果となった.

本結果から, 調査海域を囲む近傍の 4 点又は調査海域片側近傍の 4 点の電子基準点を確保できない際は, 調査海域を囲む遠方の 4 点又は調査海域近傍の 1 点の電子基準点を使用し後処理キネマティック解析を行うことで良好な水深が得られることが確かめられた.

謝 辞

第六管区海上保安本部海洋情報部及び測量船「くるしま」の職員・乗組員の皆様には, 測深作業で多くのご支援・ご協力をいただきました. 沿岸調査課職員, 査読者及び編集者の方には, 本稿の作成にあたり有益なご助言をいただきました. ここに記して感謝いたします.

文 献

海岸昇降検知センター (2017) 潮位年報 平成 28 年.
海岸昇降検知センター (2019) 潮位年報 平成 29 年.
海岸昇降検知センター (2020a) 潮位年報 平成 30 年.
海岸昇降検知センター (2020b) 潮位年報 平成 31 年 (令和元年).

海岸昇降検知センター (2022) 潮位年報 令和 2 年.
海上保安庁 (2009) 水路測量における測定又は調査の方法に関する告示, 海上保安庁告示 (平成 14 年 4 月 1 日第 102 号, 平成 21 年 3 月 31 日第 110 号により一部改正), 海上保安庁, 東京.

海上保安庁, 平均水面, 最高水面及び最低水面一覧表, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/datum/index.html>, 参照 2024 年 9 月 27 日.

国土地理院, 基準点成果等閲覧サービス, <https://sokuseikagisl.gsi.go.jp/top.html>, 参照 2024 年 9 月 27 日.

国土地理院, Web 版 SemiDynaEXE, <https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/semidyna/web/index.html>.

国土地理院, 測量計算サイト (ジオイド高計算), https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/geoid/calcgh/calc_f.html, 参照 2024 年 9 月 27 日.

国土地理院, 電子基準点データ提供サービス, <https://terras.gsi.go.jp/>, 参照 2024 年 9 月 27 日.

大久保匡騎・住吉昌直・伊能康平・小林研太・土屋主税・野澤理香・栗田洋和・小川 遥・長野勝行・山野寛之・吉澤 信・熊谷卓也・安原 徹 (2022) 日本沿岸域における楕円体高基準水深測定の標準手順確立に向けて: 測深データ処理の試行と水深データの検証, 海洋情報部研究報告, 60, 16-28.

塩澤舞香・住吉昌直・伊能康平・鐘尾 誠・山野寛之・杉山伸二・長野勝行・瀬尾徳常・齊藤康仁・小池未空時・吉澤 信・豊鷺見淳史・高橋信介・栗田洋和・小川 遥・安原 徹 (2023) 日本沿岸域における楕円体基準水深測定の標準手順確立に向けて (2): 日本海 (山口県西方) の水深データを用いた精度検証, 海洋情報部研究報告, 61, 48-61.

住吉昌直・松本良浩・吉澤 信・安原 徹 (2019) マルチビーム測深における高精度後処理測

位・動揺データの有用性, 海洋情報部研究報告, 57, 62-74.

要 旨

水深測量では, 海域により, 水深点の水平・鉛直位置精度を向上するための後処理キネマティック解析に使用する電子基準点の配置が理想的ではないことがある. 本研究では, 瀬戸内海 (広島湾) において, 塩澤・他 (2023) が確立した楕円体基準の最低水面モデルを用いた測深データ処理手順を用いて導出される水深の妥当性について確認したのち, 後処理キネマティック解析に使用する電子基準点の配置の違いにより, その水深がどのように変化するのか比較を行った.

比較の結果, 調査海域を囲む近傍の 4 点又は調査海域片側近傍の 4 点の電子基準点を確保できない際は, 調査海域を囲む遠方の 4 点又は調査海域近傍の 1 点の電子基準点を使用し後処理キネマティック解析を行うことで良好な水深が得られることが確かめられた.