

港湾工事における衛星三次元測位実用化に向けた取り組み

藤村 立行*・阿部 堯**・横山 浩司*・瀬水 幸治***・佐藤 勝彦****・
近藤 雅之*****・岸本 高彦*****・梶 琢*****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査役

** (一財) 沿岸技術研究センター 主任研究員

*** 国土交通省 関東地方整備局 港湾事業企画課 作業船利用計画係長

**** 海上保安庁 海洋情報部沿岸調査課 上席沿岸調査官

***** (株) パスコ 環境文化コンサルタント事業部 環境技術部 技術三課 主任技師

***** (一社) 海洋調査協会 事務局長

***** (株) 海洋先端技術研究所 技術部 部長

国土交通省では、建設工事の全工程で効率化を目指している。その一環として、港湾局では、海上保安庁の協力により、検潮作業が不要となる鉛直測位手法について取り組みを進めてきている¹⁾。これは、衛星測位の高さの基準である地球楕円体面からの高さ²⁾と最低水面モデルを活用すること³⁾で、衛星三次元測位によって海上工事の際にリアルタイムで水深を把握しようとするものである。令和7年1月～2月には、関係機関・団体を対象として、港湾局および海上保安庁の共催で、港湾工事における衛星三次元測位実用化に向けた説明会が開催された。本稿ではそこで公表された内容を中心に報告する。

キーワード：衛星三次元測位、GNSS 測位、ジオイド、最低水面モデル、潮位補正

1. はじめに

これまで、港湾工事では、施工時の海面の高さや水深については、検潮所の潮位記録と水深測量を併用することで把握してきたが、近年では、衛星測位技術が発達してきたことから、平面的な測位(x, y 方向)については、GNSSなどの人工衛星によるGPSを利用してきた。さらにここに来て、高さ方向の測位(z 方向)についても衛星を用いて決定する方法について導入の検討が始まっている。具体的には、衛星測位の高さの基準である地球楕円体面からの高さ²⁾と最低水面モデルを活用すること³⁾で、海上工事の際にリアルタイムで水深を把握するシステムを導入しようとするものである。

2. 港湾工事における衛星三次元測位の概要

2.1 用語の説明

衛星による測位にあたっては、測量に関する用語について一定の理解を要するため、説明会では用語解説を配布した。ここでは、その内容も含め主要な用語を解説する(図-1, 2 参照)。

(1) GNSS 測位

GNSS (Global Navigation Satellite System) 測位とは、測位衛星からの信号を受信して位置を決定する衛星測位システムの総称で、①4機以上の測位衛星、②衛星を管理する地上局、③利用者の受信機、等で構成される。

(2) 楕円体高

衛星測位の計算においては、地球を仮想的な回転楕円体(地球楕円体)とみなして高さの基準を定めており、この表面からの高さを楕円体高という(図-1)。

(3) ジオイド

ジオイドとは、地球の平均海面にもっともよく整合するように定義された等重力ポテンシャル面のことをいう。日本では、平均海面として東京湾平均海面(T.P.)を用いている。なお、標高とは図-1 のとおりジオイドからの高さである。

(4) 平均水面

検潮所で長期にわたり観測された平均の海水面のことで、平均水面は平均海面とは必ずしも一致せず(図-2)、海域毎に異なる。平均水面は5年間の検潮記録より求めることとなっている。

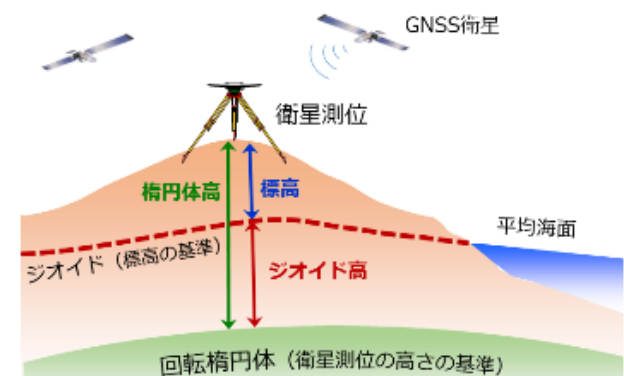


図-1 高さに関する用語の説明(陸上)

(5) 最低水面

図-2 に示すとおり最低水面とは、平均水面から、長期の観測結果からえられた主要 4 分潮の振幅を合算したものである Z_0 を引いた水面である。最低水面は港湾工事の基準面として用いられている。

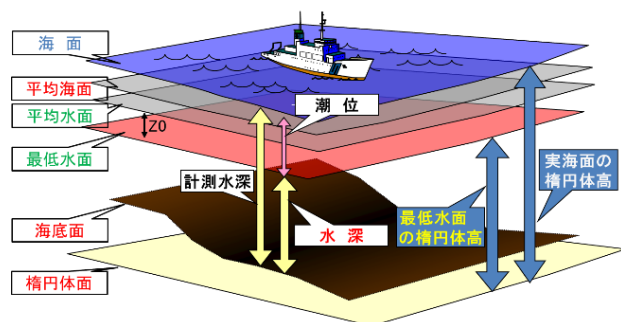


図-2 高さに関する用語の説明(海上)

2.2 衛星三次元測位の意義

港湾における測量や工事管理では、現在位置における最低水面(管理基準面)からの水深を把握する必要があるが、現状はこれを直接把握することは困難で、近隣の検潮所における同時刻の潮位情報等を取り込んで、実測の測深値から潮位を差し引いて求めている。

新たに導入が検討されている衛星三次元測位では、最低水面の高さを、あらかじめ地球楕円体からの高さ(楕円体高)として面的に定義された最低水面モデルを構築しておき、GNSS による三次元測位で取得した現在位置の水面の楕円体高(図-3 におけるオフセット値を考慮)から実測の測深値を差し引くことで、当該地点の海底面の楕円体高を求め、それと最低水面の楕円体高の差分をとることにより、水深が決定される。この方法では、検潮所の潮位情報を必要とせずリアルタイムに水深を決定できるようになる。

港湾工事において衛星三次元測位が実用化された場合、

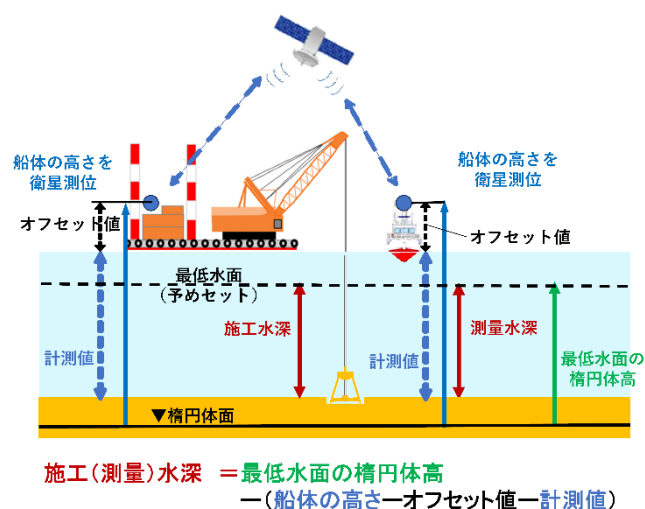


図-3 衛星三次元測位のイメージ

主に以下のようなメリットが想定できる。

- ① 水深測量の効率化
- ② 海上工事の施工の効率化
- ③ 災害時の測量・施工の迅速化

このうち②の事例を示すと、海上工事において衛星三次元測位が実用化された場合、表-1 に示すように、これまで GNSS を用いて水平方向の座標 (x, y) の測位データのみを利用していたものが、高さ方向 z の三次元測位データも用いることによって、潮位データの取得とそれによる潮位補正が不要となる。仮に約 10 日間の検潮作業が必要な業務があった場合、検潮作業に係る業務の約 17 人日の工数削減が可能となる。

表-1 海上工事における効率化の試算

	現 行 (潮位補正)	新技術導入後 (衛星三次元測位)
現行概略フロー	施工計画 ↓ 常設検潮所がない場合 簡易検潮器の設置 ↓ 施工管理 ・RTK-GNSS測位 (x,y) ・潮位データの取得 潮位補正 (z)	施工計画 ↓ 施工管理 ・RTK-GNSS測位 (x,y,z)
効率化		簡易検潮器の設置・撤去 簡易検潮、潮位補正等 (10日間の簡易検潮) 約17人日の減

簡易検潮器の設置・撤去、簡易検潮、潮位補正等 (10日間の簡易検潮) 約17人日の減

2.3 最低水面モデルの導入に向けた準備

前述のとおり衛星三次元測位の実施にあたっては、最低水面が既知として確定している必要がある。そのような背景のもと、海上保安庁では、最低水面モデル公表のための準備を進めている。

衛星三次元測位の導入にあたっては、港湾管理者と海上保安庁の間で最低水面モデルの導入に関する協議が必要であり、協議が成立した港湾から順次、最低水面モデルが海上保安庁 HP 上で公表されることになっている。

2.4 精度検証の取り組み

令和 4 年度から令和 6 年度にかけて、海上保安庁が作成した最低水面モデル(試行版)を使用して実用に耐えうるかどうか精度検証が実施されてきた(表-2)。令和 5 年度に実施した検証のうち、一つは水深測量における検証を目的として、同じ水深測量結果に対して従来の潮位補正による処理手順と最低水面モデルをもとにした処理手順で水深の算出値にどの程度差があるかを調べたものである。もう一つは、港湾工事の施工管理における検証を目的として、作業船のデッキ面の高さが従来のものと衛星三次元測位によるものとでどの程度の差が生じるかを調べたものである。

水深測量における検証では、図-4 に示す形で比較した。

表-2 精度検証の実施場所

実施年度	実施場所
深浅測量	
令和4年度	鹿島港、横浜港、四日市港
令和5年度	釜石港、敦賀港、境港、備讃瀬戸、中城
令和6年度	中山水道、備讃瀬戸、竹富南
港湾工事	
令和4年度	【地盤改良工】横浜港
令和5年度	【浚渫工】横浜港、広島港、大阪港 【地盤改良工】八代港、函館港【基礎工】室津港
令和6年度	【浚渫工】徳山下松港、中城港湾、他

水深測量における検証結果については、表-3 に示すように、中城港を除いて従来手順と最低水面モデルを用いた手順の違いによる差は6.4cm 以下であった。

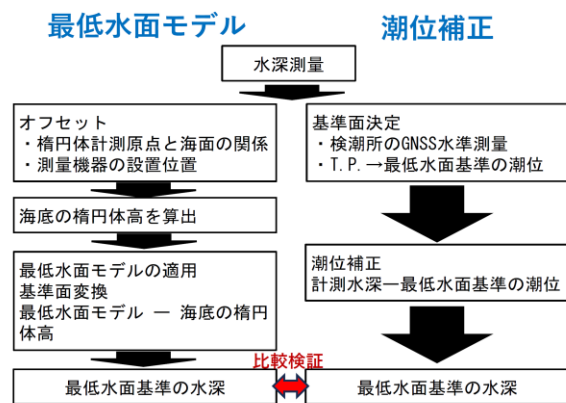


図-4 水深測量における検証の方法(令和5年度)

表-3 水深測量における検証の結果(令和5年度)

港湾名	差分平均(m) [※]	備考
釜石	地点1	0.001
	地点2	0.001
敦賀	地点1	-0.064
	地点2	-0.038
境港	地点1	0.009
	地点2	-0.003
備讃瀬戸	地点1	-0.039
	地点2	0.033
中城	地点1	0.114 (0.041)
	地点2	0.174 (0.101)

※) 「最低水面モデル」 — 「潮位補正」

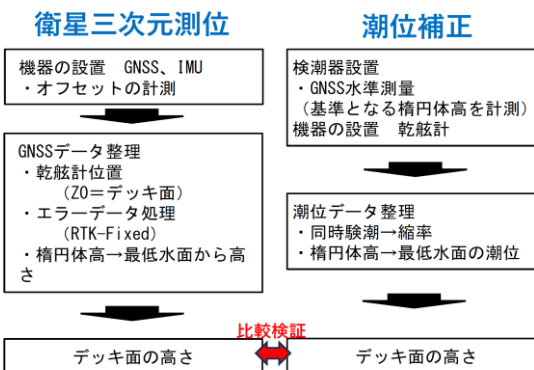


図-5 港湾工事における検証の方法(令和5年度)

一方、港湾工事における検証としては図-5 のとおり比較し、結果は表-4 に示すとおり広島港での結果を除くと、差分平均は2.2cm 以下、標準偏差は最大で10cm 程度であった。

これまでの一連の検証の結果においては、最低水面モデルによる鉛直測位は従来の潮位補正による鉛直測位と同程度の精度確保が可能であることを示している。

表-4 港湾工事における検証の結果(令和5年度)

港湾名	工種(船種)	差分平均(m) ^{※1}	標準偏差(m)
横浜	床掘工(グラブ浚渫船)	0.008	0.077
		-0.095 ^{※2}	0.064
広島	浚渫工(グラブ浚渫船)	0.014	0.096
八代	地盤改良工(SCP船)	-0.015	0.052
函館	地盤改良工(CDM船)	-0.011	0.048
室津	基礎捨石工(測量船)	0.022	0.053

※1) 衛星三次元測位 — (潮位 + 乾舷)

※2) 施工中に計器を一時動かしたため、オフセット値にズレ

3. 説明会の概要

3.1 説明会の概要

港湾工事における衛星三次元測位実用化に向けた説明会(以下「説明会」)は表-5 の通り開催された。1月 は行政関係者(地方整備局、港湾管理者および管区海上保安本部の職員)を対象として、また2月 は民間会社の実務者(建設会社、調査・測量会社)を対象として開催された。

説明会での内容とその担当は表-6 の通りである。

表-5 説明会の実施概要

名称	日時	会場	対象
1月説明会	令和7年1月21日(火) 10:00~11:00	海上保安庁 420+421会議室	地方整備局 港湾管理者 管区海上保安本部
	令和7年1月22日(水) 14:00~15:00		
	令和7年1月24日(金) 10:00~11:00		
2月説明会	令和7年2月26日(水) 14:00~15:00	海上保安庁 420+421会議室	建設会社 調査・測量会社
	令和7年2月27日(木) 10:00~11:00		
	令和7年2月28日(金) 10:00~11:00		

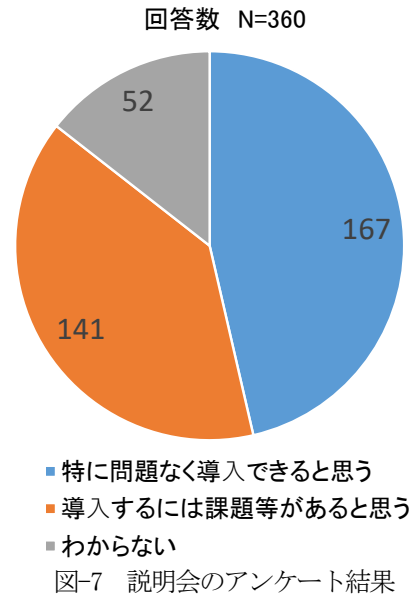
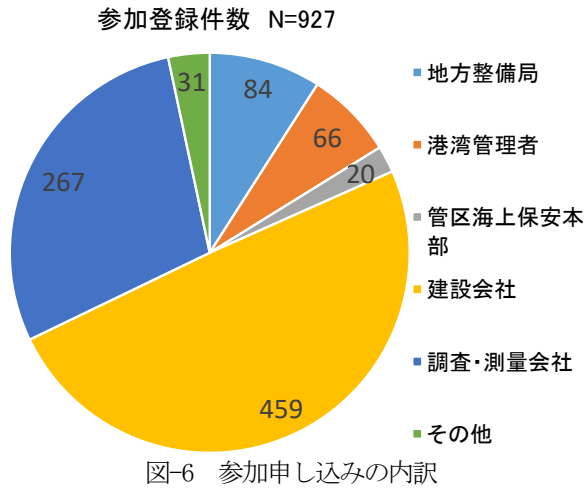
表-6 説明会の内容および担当

内容(プログラム)	担当
港湾工事における衛星三次元測位について	港湾局
最低水面モデルについて	海上保安庁
これまでの取組について	事務局
質疑・応答	港湾局、海上保安庁、事務局
アンケート	事務局

地方整備局、管区海上保安本部および関係団体を通じて案内が送られ、参加登録件数は900 を超えた(図-6)。

説明会は WEB 配信によって行い、事前配布資料の説

明と質疑応答を行った。また、アンケートによる意見聴取を行った。説明会の動画および配布資料は、オンデマンド配信にて公開した。



3.2 参加者の意見・感想

前述のとおり説明会終了後は、参加者に対して表-7 に示すようなアンケートを実施した。

選択式の回答で、(2)三次元測位を導入するには課題等がある、または(3)わからないと答えた回答者には、その内容や要因について、さらに記述回答を求めた。

表-7 アンケートの内容

選択式		記述式 (設問)
設問	担当者の視点で衛星三次元測位の導入にあたり課題や懸念等がございましたら教えてください。	—
	(1)特に問題なく導入できると思う	—
回答	(2)導入するには課題等があると思う	「導入するには課題等があると思う」の場合、どのような課題や懸念があるか、ご記入ください。
	(3)わからない	「わからない」の場合、判断できない要因について、ご記入ください。

選択式アンケートでは、図-7 に示すような回答者の傾向が得られた。参加者の5割弱が問題なく導入できると答えた一方で、およそ4割または1割近くからは課題があるまたはわからないという回答となった。

また、記述式の回答の主な内容について以下に示す。

- ・計測方法の変更に伴う精度確保等への不安
- ・制度、規則改正等の移行に関する疑問
- ・必要な機器、設備投資に関する疑問

4. おわりに

港湾工事等において衛星三次元測位が実用化されると、以下に示すように、生産性の向上や災害時等のより迅速な対応が可能となるなど、多くのメリットが期待できる。

◇水深測量では、検潮器設置や水準測量が不要となるほか欠測による手戻りリスクが回避できる

◇海上工事では、施工のための仮検潮所の設置が不要となるほかリアルタイムで水深把握できることによる効率化が期待できる

◇巨大地震等による被災直後でも、迅速な水深測量や海底状況等の把握が可能になる

一方で説明会参加者からは、3.2に示したとおりいくつかの不安と疑問が示された。これらの不安や疑問にこたえるため、引き続き関係者への説明会や講習の実施、導入マニュアルの整備、FAQ集の公表などが必要になると考えられる。

謝辞

説明会の運営および今後の対応方針については、国土交通省港湾局参事官(技術監理・情報化)室、海上保安庁海洋情報部沿岸調査課の他、国土地理院測地部物理測地課の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 廣瀬大輔, 川上司, 辰巳大介, 宮田正史, 川原洋, 瀬水幸治: GNSS 鉛直測位による港湾工事における測深作業の効率化, 国土技術政策総合研究所資料, 第1278号, pp. 1-43, 2024.
- 2) 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: 日本海沿岸域における楕円体高基準水深測量の標準手順確立に向けて, 海洋情報部研究報告第60号, pp. 16-23, 2023.