

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1199

March 2022

## ICT海上地盤改良工（床掘工）の出来形管理への 施工履歴データ適用に関する検討

小嶋一弘・辰巳大介・小川雅史

Study on the Application of Construction History Data to Finished Form  
Management for ICT Marine Ground Improvement Work (Floor Digging)

KOJIMA Kazuhiro, TATSUMI Daisuke, OGAWA Masashi

国土交通省 国土技術政策総合研究所

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

# ICT海上地盤改良工（床掘工）の出来形管理への 施工履歴データ適用に関する検討

小嶋一弘\*・辰巳大介\*\*・小川雅史\*\*\*

## 要 旨

国土交通省は、労働人口が減少する中で経済成長を図るべく、2015年度より建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場の創出を目指すi-Constructionの取り組みを開始した。港湾分野においては、2017年度より浚渫工でのICT活用が開始され、2020年度から本格運用がなされている。

このような中でICT浚渫工（河川）においては、バックホウ浚渫船から施工時に取得した施工履歴データを用いて、水中部の出来形計測および出来形管理を行い作業効率化が図られているが、いまだグラブ浚渫船の施工履歴データの活用は進んでいない。港湾分野における施工は、海上や海中が多く、予てより船舶機械を使用する作業であるため、バックホウ浚渫船と同様にグラブ浚渫船の施工履歴データを活用することにより、施工管理の手間とコスト削減が期待され、作業効率が向上するものと考えられる。

本検討では、ICT海上地盤改良工（床掘工）で使用するグラブ浚渫船の施工履歴データを用いた出来形計測および出来形管理への適用性について、実際の工事で取得した施工履歴データの分析により、計測性能および精度管理、出来形計測方法、出来形管理方法など、導入に際して必要な基準やマニュアルを整備するための考慮すべき事項を整理した。

**キーワード**：港湾，ICT海上地盤改良工（床掘工），実地試験，施工履歴データ，出来形管理

---

* 港湾研究部	港湾施工システム・保全研究室	交流研究員（若築建設株式会社）
** 港湾研究部	港湾施工システム・保全研究室	室長
*** 港湾研究部	港湾施工システム・保全研究室	主任研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所  
電話：046-844-5019 Fax：046-842-9265 mailto: ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

# Study on the Application of Construction History Data to Finished Form Management for ICT Marine Ground Improvement Work (Floor Digging)

**KOJIMA Kazuhiro\***  
**TATSUMI Daisuke\*\***  
**OGAWA Masashi\*\*\***

## Synopsis

In order to achieve economic growth in the context of the decline in the working population, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) launched the “i-Construction” initiative in fiscal year 2015, which aimed at improving the productivity of construction sites and creating attractive workplaces. In port areas, the utilization of ICT in dredging started in fiscal year 2017, and full-scale operation has been carried out since fiscal year 2020.

While ICT dredging (in rivers) can apply construction history data acquired from a backhoe dredger to finished form management for the underwater part, construction history data acquired from a grab dredger has not yet been utilized. Construction work in a port area requires the use of ship machinery, so the application of construction history data acquired from a grab dredger to finished form management is expected to improve work efficiency.

This study examines the applicability of construction history data acquired from a grab dredger to finished form management for ICT marine ground improvement work (floor digging). Construction history data of actual port construction work is analyzed to clarify the measurement performance, accuracy control, shape measurement method, and finished form management method, which are necessary for establishing technical standards and proposing manuals.

**Key Words:** Port, ICT Marine Ground Improvement Work (Floor Digging), Field Test,  
Construction History Data, Finished Form Management

---

\* Visiting Researcher, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM (WAKACHIKU CONSTRUCTION Co., Ltd.)

\*\* Head, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM

\*\*\* Senior Researcher, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM

National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism  
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail: ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 背景と目的	1
1.2 構成	1
2. ICT活用工事での施工履歴データを用いた出来形管理への適用性	2
2.1 ICT施工の導入状況	2
2.2 ICT浚渫工・ICT海上地盤改良工における出来形管理の現状	3
2.3 ICT浚渫工（河川）での施工履歴データを用いた出来形管理	4
2.4 ICT海上地盤改良工（床掘工）での施工履歴データを用いた出来形管理の適用性	7
3. ICT海上地盤改良工（床掘工）の実地試験による検証	9
3.1 実地試験の概要	9
3.2 実地試験での施工履歴データの取得・処理方法	10
3.3 実地試験結果	13
3.4 施工履歴データを用いた出来形管理における考慮すべき事項	18
4. おわりに	23
謝辞	23
参考文献	23
付録A	24



## 1. はじめに

### 1.1 背景と目的

我が国では少子・高齢化による生産年齢人口の減少が進んでおり、建設業においても就業者数が減少している。建設業就業者数は、1997年度（平成9年度）の685万人をピークに2010年度（平成22年度）には498万人まで減少（ピーク時比▲27.3%）、ここ10年間は500万人前後で推移し、2021年（令和3年）4月時点では498万人となっている<sup>1)</sup>。また、技能労働者数も2019年度（令和元年度）では324万人でピーク時から28.8%減少し、年齢階層別で見ると55歳以上の割合が約35%であるのに対して、29歳以下の割合が約11%と高齢化が著しく、次世代の担い手不足や技術継承が大きな課題となっている<sup>2)</sup>。しかし、生産年齢人口が減少する中において、生産性を向上させることで経済成長の実現が可能と考えられる。

国土交通省では、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおける、生産性を向上させるi-Constructionを2015年（平成27年）から導入を開始した。i-Constructionの導入工種として、陸上分野では、2016年度（平成28年度）からICT土工の適用が開始され順次、対象工種を拡大している。港湾分野における取り組みについては、2017年度（平成29年度）からICT浚渫工（港湾）の適用が開始され、i-Construction導入開始から2021年度（令和3年度）で5年目を迎え、マルチビームを用いた深浅測量を中心に対象工種の拡大展開を図っているところである。

今後、更なるICT活用導入工種を拡大するためには、陸上工事とは異なり海上や海中での工事が多い港湾工事において、作業の進捗状況の把握や工事の出来形確認が困難な場合が多いこと、波浪・潮流・風による影響が大きいことなど、港湾工事の特徴を踏まえ、ICT活用に向けた試行や検証を行いながら課題の抽出・検討・適用性を評価し、必要な基準やマニュアルを整備していく必要がある。

また、ICT建設機械等の作業装置の施工中における軌跡（以下、「施工履歴データ」という）を記録し、適切な精度管理を行ったうえで、施工履歴データを出来形管理に活用することにより施工管理の手間とコスト削減が期待され、作業効率が向上するものと考えられる。陸上分野におけるICT浚渫工（河川）においては、バックホウ浚渫船（図-1.1参照）の施工履歴データを用いた水中部の出来形計測および出来形管理方法を整理し、要領が策定され2018年度（平成30年度）より試行工事を開始しその効果が現れている。

また、近年、GNSS（Global Navigation Satellite System）や新しい計測技術の利用が急速に増えてきており、港湾工

事で使用する船舶機械においてもこういった技術を利用した施工管理システムを活用している。本検討は、ICT海上地盤改良工（床掘工）で使用するグラブ浚渫船（図-1.1参照）に装備された浚渫施工管理システムより取得した施工履歴データを用いた出来形計測および出来形管理への適用性を検討するものである。グラブ浚渫船は支持ワイヤーロープでグラブバケットを吊り下げているため、バックホウ本体・ブーム・アーム・バケットが剛体構造であるバックホウ浚渫船とは施工履歴データの特性等が異なるので、施工履歴データの計測性能および精度管理、出来形計測方法、出来形管理方法などの観点から、必要な基準やマニュアルを整備するための考慮すべき事項を検討する。



図-1.1 バックホウ浚渫船とグラブ浚渫船

### 1.2 構成

本資料の構成を図-1.2に示す。第1章では、背景と目的、構成について述べる。第2章では、ICT活用工事での施工履歴データを用いた出来形管理への適用性について、ICT施工の導入状況、ICT浚渫工・ICT海上地盤改良工における出来形管理の現状、ICT浚渫工（河川）での施工履歴データを用いた出来形管理、ICT海上地盤改良工（床掘工）での施工履歴データを用いた出来形管理の適用性について整理する。第3章では、ICT海上地盤改良工（床掘工）における実地試験結果の検証、出来形管理に施工履歴データを用いる際の考慮すべき事項について検討結果を示す。第4章は、本検討のまとめである。

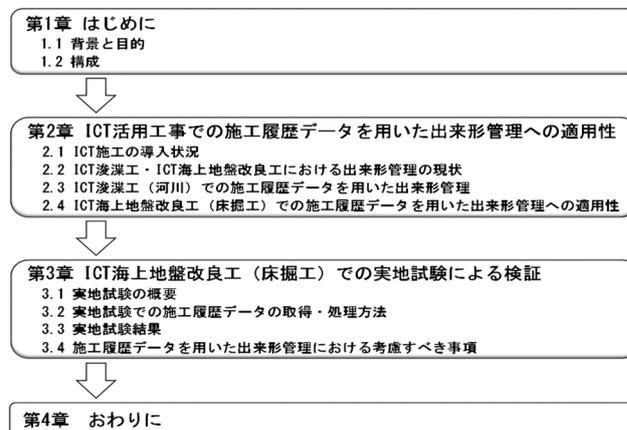


図-1.2 本検討の構成

## 2. ICT 活用工事での施工履歴データを用いた出来形管理への適用性

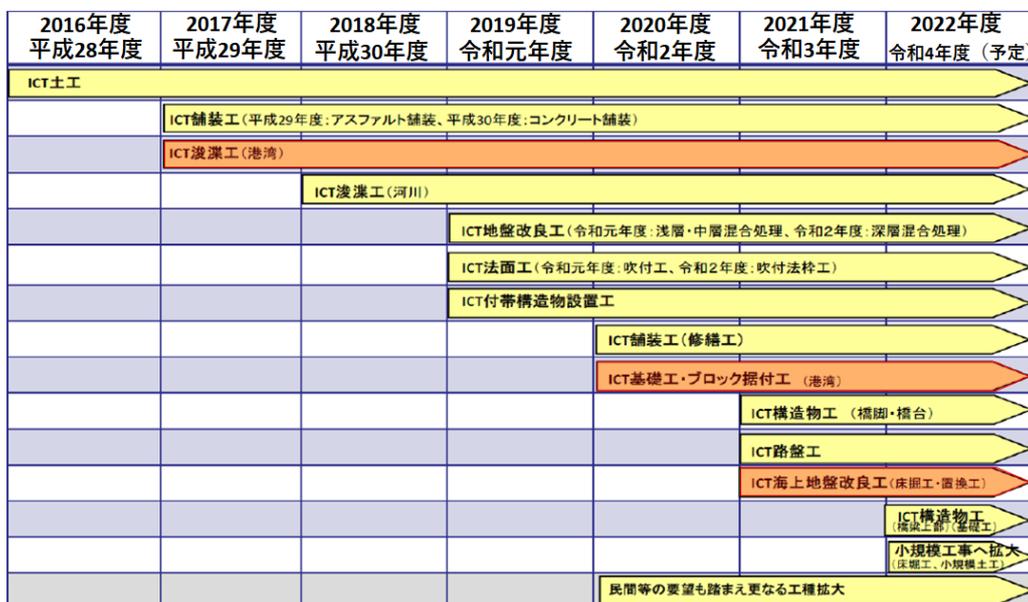
### 2.1 ICT 施工の導入状況

i-Construction に関する工種の拡大状況を図-2.1 に示す。陸上分野においては、2016 年度（平成 28 年度）の ICT 土工を皮切りに主要工種から順次、ICT 活用のための基準類を整備している。2021 年度（令和 3 年度）までに 9 工種が適用され、2022 年度（令和 4 年度）には、ICT 構造物工（橋梁上部）（基礎工）および小規模工事（床掘工・小規模土工）へ拡大する予定である。また、2020 年度（令和 2 年度）より民間提案の募集を実施し、産学官連携による基準類作成の取組も開始されている。提案技術に実用性が認められる

と同時に、要領化に必要なバックデータの蓄積が満たされ、あるいは業界ニーズが高い提案から着手されている。

港湾分野では、2016 年度（平成 28 年度）から「港湾における ICT 導入検討委員会」での取り組みにおいて、ICT 活用工事導入への検討が進められてきた。2017 年度（平成 29 年度）から ICT 浚渫工（港湾）、2020 年度（令和 2 年度）から ICT 基礎工、ICT ブロック据付工、2021 年度（令和 3 年度）から ICT 海上地盤改良工（床掘工・置換工）の工種において、ICT 活用のための基準類が整備され ICT 活用施工が実施されている。

現在までに、策定・改定された各種基準類を表-2.1 に示す。また、表-2.1 における建設生産プロセスの実施概要について、とりまとめたものを表-2.2 に示す。



出典：ICT 導入協議会（第 13 回 R3.7.14）資料-資料 2

図-2.1 ICT 施工に関する工種の拡大<sup>3)</sup>

表-2.1 ICT 活用施工に伴う各種基準類の策定・改定

工種	対応	基準名
ICT 浚渫工	令和 3 年 4 月改定	・マルチビームを用いた深淺測量マニュアル（浚渫工編） ・3次元データを用いた港湾工事数量算出要領（浚渫工編） ・3次元データを用いた出来形管理要領（浚渫工編） ・3次元データを用いた出来形管理の監督・検査要領（浚渫工編） ・ICT活用工事積算要領（浚渫工編）
ICT 基礎工	令和 3 年 4 月改定	・3次元データを用いた港湾工事数量算出要領（基礎工編） ・ICT活用工事積算要領（基礎工編）
ICT ブロック据付工	令和 3 年 4 月改定	・ICT機器を用いた測量マニュアル（ブロック据付工編） ・ICT活用工事積算要領（ブロック据付工編）
ICT 海上地盤改良工（床掘工・置換工）	令和 3 年 4 月策定	・マルチビームを用いた深淺測量マニュアル（海上地盤改良工：床掘工・置換工編） ・3次元データを用いた港湾工事数量算出要領（海上地盤改良工：床掘工・置換工編） ・3次元データを用いた出来形管理要領（海上地盤改良工：床掘工・置換工編） ・3次元データを用いた出来形管理の監督・検査要領（海上地盤改良工：床掘工・置換工編） ・ICT活用工事積算要領（海上地盤改良工：床掘工・置換工編）

表-2.2 建設生産プロセスにおける実施概要

工種	実施概要
ICT 浚渫工	・マルチビームを用いた深淺測量（以下、「MB」という）および MB から取得した 3次元データを用いた ICT 活用 ① 起工測量 (MB) ② 工事数量算出 (3次元データ) ③ 施工活用 (3次元データ) ④ 出来形測量 (MB) ⑤ 電子成果品 (3次元データ)
ICT 基礎工	・MBを用いた深淺測量およびMBから取得した 3次元データを用いた ICT 活用 ① 起工測量 (MB) ② 工事数量算出 (3次元データ) ③ 施工活用 (3次元データ)
ICT ブロック据付工	・ICT機器 (MB, 空中写真測量 (UAV), 無人航空機搭載型 LS) を用いた測量 ※ブロック据付は出来形確認ではなく、完成形状を把握しその後の維持管理に活用 ④ 完成時測量 (3次元データ) ⑤ 電子納品 (3次元データ)
ICT 海上地盤改良工（床掘工・置換工）	・MBを用いた深淺測量およびMBから取得した 3次元データを用いた ICT 活用 ① 起工測量 (MB) ② 工事数量算出 (3次元データ) ③ 施工活用 (3次元データ) ④ 出来形測量 (MB) ⑤ 電子成果品 (3次元データ)

表-2.2における、建設生産プロセスでの各段階のICT活用内容を整理すると以下のとおりである。

- ①起工測量：受注者は工事の施工前にマルチビームを用いた深浅測量を行い、現況地盤を確認し設計図書的设计照査を行う。(対象は、浚渫工・基礎工・海上地盤改良工)
- ②工事数量算出：受注者は①の結果と設計図書から作成した3次元設計データを用いて施工数量を算出し、設計図書と比較検証を行う。(対象は、浚渫土量・基礎捨石数量・床掘土量・置換数量)
- ③施工活用：受注者は①により得られた3次元データを用いてICTを活用した施工を行う。主に使用船舶機械に各施工管理システムを装備し活用。
- ④出来形測量：受注者は施工完了後、マルチビームを用いた水深測量(出来形測量)を行い、出来形管理を行う。(対象は、浚渫工・海上地盤改良工)  
ブロック据付工においては、ICT機器により完成形状を測量し3次元データを取得する。
- ⑤電子成果品：受注者は④により得られた3次元データから帳票等を作成し、工事完成図書として納品する。(対象は、浚渫工・ブロック据付工・海上地盤改良工)  
ブロック据付工においては、3次元データにより完成形状を把握し、その後の維持管理に活用することを目的とする。

表-2.1および表-2.2に示したとおり、現在のところ港湾分野においては、「マルチビームを用いた深浅測量およびマルチビームから取得した3次元データを用いたICT活用」が主体となっている。近年、衛星測位技術(GNSS)、ICTや計測技術(Unmanned Aerial Vehicle; UAV, Terrestrial Laser Scanner; TLS, Total Station; TS等)は急速に進化しているが、海上や海中での施工が多い港湾工事においては、これら3次元計測技術を出来形管理に活用するには試行や検証事例が少なく、海上や海中での計測技術が確立していないため、工種拡大・技術適用するための知見が限られているのが現状である。

上の③施工活用においては、起工測量時の3次元データを用いて縦断面形状、横断面形状、俯瞰図等を構築することにより、施工前の海底地形を把握し施工計画や施工管理に活用している。また、GNSS、各種機材やソフトウェアを組み合わせた各施工管理システムを使用船舶機械に装備し、リアルタイムで海中での施工位置や施工状況をシステム画面上で可視化し施工することにより、作業効率化が図られてきている。

浚渫工および床掘工で使用するグラブ浚渫船においては、クレーンの出力データ(旋回角・ジブ角・グラブバケットワイヤー繰り出し長)、潮位情報、GNSS位置情報、作業専用ソフトウェアを組み合わせた浚渫施工管理システムを装備し活用している。このシステムは、グラブ浚渫船位置、グラブバケット位置、浚渫深度や掘跡確認をリアルタイムにシステムモニター画面上に表示することで、海上・海中での作業状況を可視化できる施工支援システムである。このシステムの活用によって、オペレータが視認しながら作業を行えるため、従来に比べ作業効率が向上し、掘残し箇所が軽減され施工精度も向上している。

また、最近の技術ではグラブ浚渫船に水中ソナーを装備し、浚渫施工管理システムと接続することで掘跡の深度測深が可能となってきたが、測深精度等の実証までには至っていない。

## 2.2 ICT 浚渫工・ICT 海上地盤改良工における出来形管理の現状

現在、ICT活用が適用されているICT浚渫工・ICT海上地盤改良工(床掘工・置換工)の2工種における出来形管理の現状を、従来方式とICT活用方式別に整理する。また、出来形管理におけるICT活用方式の課題点等についても述べる。

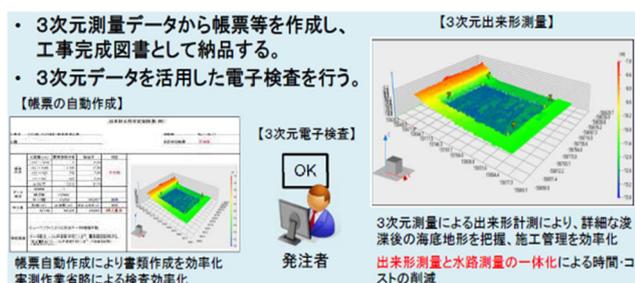
### (1) ICT 浚渫工

従来の出来形計測は、浚渫完了後にシングルビーム音響測深機にて深浅測量を行い、測量時の潮位を考慮して音響測深記録紙を解析し、水深値を読み取る方法である。また、測量に際しては測量船にGNSSアンテナを設置し設計図書に示された測線毎、GNSSの位置情報を基に船位誘導しながら測量を行う。出来形管理は、解析した音響測深記録紙から掘残し箇所の有無を確認するとともに、読み取り値から平面図(深浅図)、横断面図を作成し、設計値および設計形状と比較し出来形管理基準を満足しているか判定を行う。浚渫工における出来形確認は、船舶航行の安全水深確保が目的であるが、参考として設計数量と浚渫土量を対比するため、作成した横断面図より平均断面法にて土量計算を行う。

現在のICT活用による出来形管理は、浚渫完了後にマルチビームを用いた深浅測量を行い、マルチビームから取得した3次元データによって出来形管理書類作成や土量計算を行う。マルチビームから取得した3次元データを専用のソフトウェアを用いて魚群やノイズ等の不要な点を除去・解析し、出来形管理図表・俯瞰図の自動作成および浚渫土

量の自動算出を行う。マルチビームによる3次元測量によって、従来把握できなかった浚渫後の詳細な海底地形を面的に把握することが可能となり、出来形管理書類等の自動作成によって書類作成の効率化が図られている。

また従来は、浚渫による海底地形の変化に伴う海図補正のための水路測量を工事完了後に別途行っていたが、出来形測量の取得データを水路測量にも使用可能とすることで、別途行っていた水路測量が不要となり、その時間とコストが削減され効率化された（図-2.2 参照）。



出典：港湾における i-Construction 推進委員会（第1回 R2.11.13）資料

図-2.2 ICT 浚渫施工出来形管理概要<sup>4)</sup>

(2) ICT 海上地盤改良工（床掘工・置換工）

従来の床掘工・置換工における出来形計測は、施工完了後にシングルビーム音響測深機、レッドまたはレベル等を用いて各測点、測線毎に水深（高さ）・幅・延長を計測しており、基本的に浚渫工と同様の方法で行われている。防波堤等の構造物を築造する断面の軟弱地盤層を支持層まで床掘し、良質材で置き換え地盤改良を行うことから、深掘すると土砂処分量や置換材の使用量が増加するため、床掘においては高い施工精度が必要とされる。表-2.3に床掘工、置換工の出来形管理基準を示す。

表-2.3 工種別出来形管理基準<sup>5)</sup>

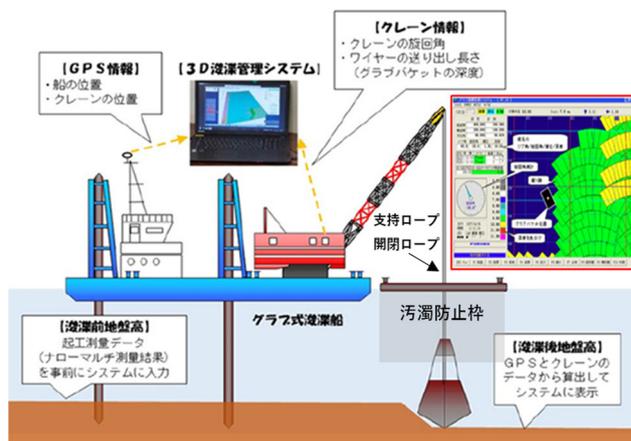
工種	管理項目	測定方法	測定密度	測定単位	結果の整理方法	許容範囲
床掘工	水深 (底面)	音響測深機、 レッド又はレベル等により測定	⊙による	10 c m	平面図に実測値を記入し提出	±30 c m又は⊙による
	(法面)	音響測深機、 レッド又はレベル等により測定	⊙による	10 c m	平面図に実測値を記入し提出	外側2m 内側30 c m (法面に直角又は⊙による)
置換工	延長	スチールテープ、 間縄、光波測深機等により測定	施工完了後	10 c m	管理図に延長を記入し提出	+規定しない -0
	天端高 天端幅 法面	陸上部：スチールテープ、レベル、 光波測深機等で測定  水中部：スチールテープ、間縄、 レベル又は音響測深機等により測定	測線間隔20m 以下測点間隔 10m以下  測線間隔20m 以下測点間隔 20m以下	天端高1 c m 天端幅10 c m  10 c m	管理図に天端高、法肩、法尻、 天端幅及び法面勾配を記入し提出	天端高±50 c m又は⊙による  天端幅、法面は⊙による

出典：港湾工事共通仕様書（令和3年3月）

また、床掘工においては底面および法面で出来形許容範囲を超えた場合、置換材と同等以上の品質を有する材料で埋戻しを行わなければならない。なお、引き続き同一工事で行き換えを行う場合は、監督職員の承諾を得て埋戻しを置き換えと一体施工することができるとされている<sup>9)</sup>。

現在の ICT 活用による出来形管理は、浚渫工と同様に床掘完了後にマルチビームを用いた深浅測量を行い、マルチビームから取得した3次元データによって出来形管理書類作成や土量計算を行うものとしているが、機器の機装時間および取得した計測データ解析に時間を要することで、浚渫工にはない置換工等の次工程までの待ち時間が生じ、工程を圧迫することが懸念される。マルチビームによる出来形管理においては、現場試験を実施し従来方式と生産性の面から比較検討し、ICT 活用による効果の実証確認や出来形管理手法の改善が必要と思われる。

グラブ浚渫船に装備された浚渫施工管理システム（図-2.3 参照）を活用し、ICT 浚渫工（河川）と同様に水中部での施工履歴データを用いた出来形管理への適用が可能となれば、出来形測量解析に要する期間のグラブ浚渫船拘束日数が削減され、出来形管理作業の効率化および生産性の向上が図られることが期待される。そのため、施工履歴データの活用については、積極的な取り組みが期待されており、現場での検証試験を通じてシステム構成や計測基準等を設定する必要があると考えられる。



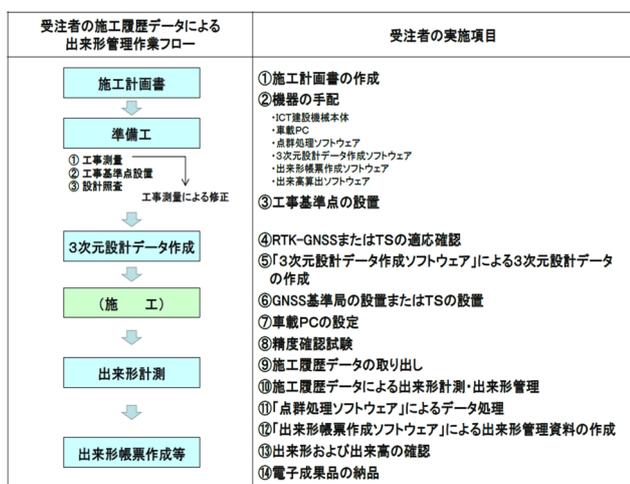
出典：港湾における i-Construction 推進委員会（第2回 R3.2.10）資料

図-2.3 浚渫施工管理システムの概要<sup>6)</sup>

2.3 ICT 浚渫工（河川）での施工履歴データを用いた出来形管理

本研究における、ICT 海上地盤改良工（床掘工）での施工履歴データを用いた出来形管理の適用性を検討する上で、比較参考とするため ICT 浚渫工（河川）での施工履歴データを用いた出来形管理の特性について整理する。

陸上分野においては、2018年度(平成30年度)よりICT浚渫工(河川)が開始された。バックホウ浚渫船による面的な施工管理基準の適用を図る方法の一つに、ICTバックホウによる施工履歴データの活用に着目し、面的な出来形管理に対応した精度管理手法や規格値が検討され基準類が策定されている。マシンガイダンス機能を搭載したICTバックホウを計測機器とみなし、直接、出来形を計測する技術で、ICTバックホウのバケット刃先位置の3次元座標データ(施工履歴データ)をリアルタイムに取得・記録することによって出来形管理を行うものである。「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(第5編河川浚渫工編)」に規定された出来形管理の主な手順を図-2.4に示す。



出典：3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(第5編河川浚渫工編)

図-2.4 出来形管理の主な手順<sup>7)</sup>

マシンガイダンス機能を搭載したICTバックホウ浚渫船を使用することで、オペレータへの操作支援による作業の効率化や施工精度の向上が期待される。また、施工と同時に施工履歴データが取得・記録されるため、従来の出来形計測を省略化することが可能となり、出来形管理作業の大幅な効率化が期待される。以下に、施工履歴データ取得における特性を示す。

(1) 施工履歴データを用いた出来形計測の優位性

従来の巻尺、レベルやTS等による出来形計測方法に比べ以下の優位性がある。

- ①従来の出来形管理手法では把握できなかった面的な出来形が把握できる。
- ②河床掘削や浚渫等で実施される水中等の出来形計測作業が効率化できる。
- ③施工中に出来形を把握することができ、出来形の確認と施工修正のサイクルが迅速化する。

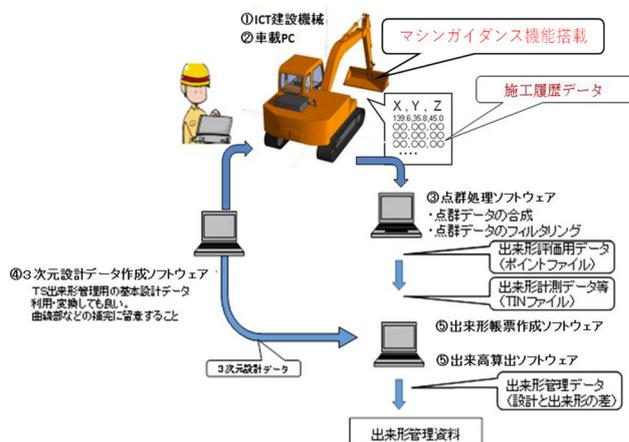
(2) 施工履歴データを用いた出来形計測の留意点  
施工履歴データを用いた計測では、従来の巻尺、レベルやTS等による出来形計測方法に比べ以下の留意点がある。

- ①ICTバックホウ浚渫船の作業位置は、GNSSや各種センサを統合したシステムにより計測されるため、現場においてはシステム全体の精度管理を適切に行う必要がある。
- ②取得データの計測密度が、既存の面的な出来形計測技術と比べ著しく小さい。

(3) 施工履歴データによる出来形管理機器の構成

ICTバックホウ浚渫船で取得した施工履歴データによる、出来形管理に必要な管理機器類の構成は以下のとおりであり、出来形管理機器の構成例を図-2.5に示す。

- ①ICT建設機械 (ICTバックホウ浚渫船)
- ②車載PC
- ③点群処理ソフトウェア
- ④3次元設計データ作成ソフトウェア
- ⑤出来形帳票作成ソフトウェア
- ⑥出来高算出ソフトウェア



出典：3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(第5編河川浚渫工編)

図-2.5 施工履歴データによる出来形管理機器構成例<sup>7)</sup>

(4) 施工履歴データ取得のためのマシンガイダンス

ICTバックホウ浚渫船による施工履歴データを取得するためには、適切なマシンガイダンス機能を有するICTバックホウを使用しなければならない。施工履歴データとなるバケット刃先位置座標を計算するためには、バックホウ本体にGNSS受信機の設置、バックホウ本体・ブーム・アーム・バケットに傾斜センサの設置、およびバックホウ各部の実寸法を事前に計測し、車載PCに入力することが必須であり、これら計器類からの情報を統合した管理システムが必要である。施工履歴データ取得に必要な計器類の設置

箇所およびバックホウ各部の実寸法計測箇所を図-2.6 に示す。

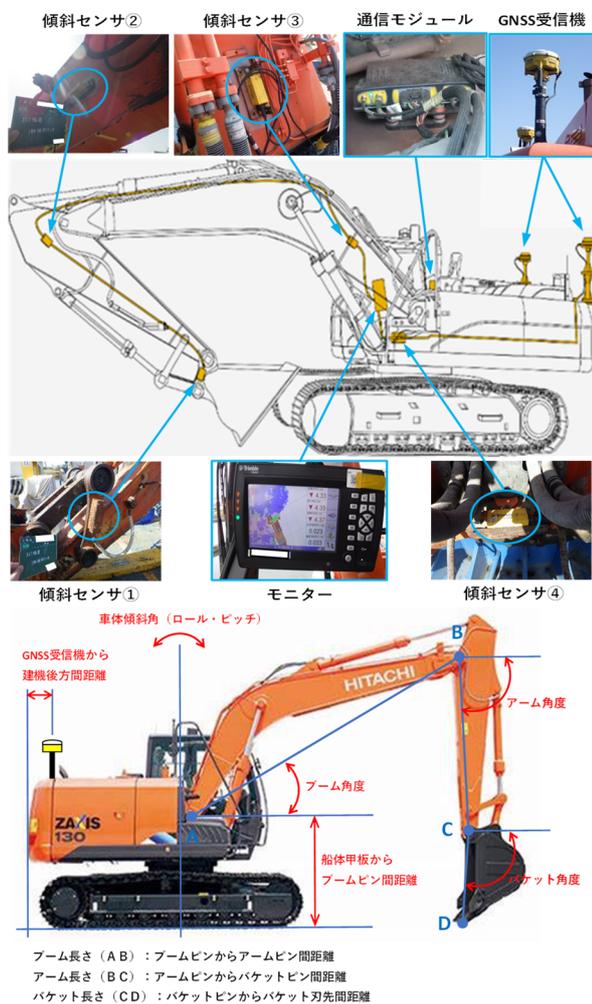


図-2.6 マシンガイダンス原理図

(5) 施工時における管理システム全体の精度管理

前記 (3), (4) における管理システムにより取得した施工履歴データが適正に管理されていることを確認するため、現地での精度管理を実施するよう「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）（第5編河川浚渫工編）」が定められている。精度管理における確認事項は次の3項目である。

a) 工事基準点の設置

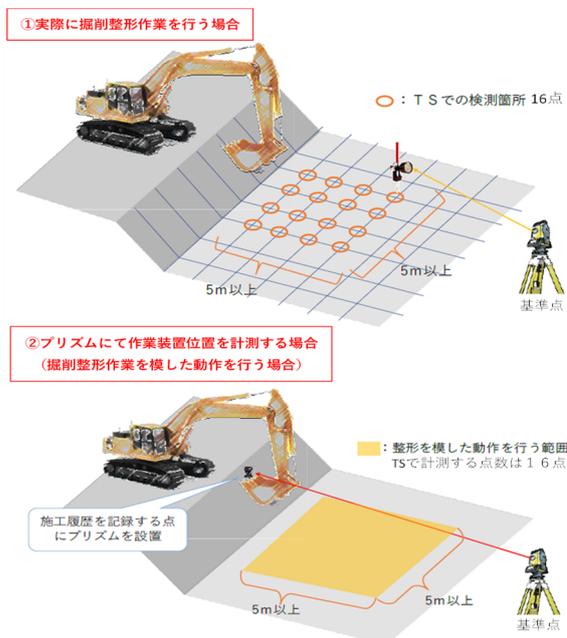
工事履歴データの計測精度確認を目的とした精度確認試験を行う際は、TSにより効率的に計測できるよう、TSが設置可能な位置に工事基準点を複数点設置する。

また、RTK-GNSS基準局を設置する場合は、RTK-GNSSによる計測誤差を小さくするために、現場に設置した工事基準点に必ず設置する。

b) テスト作業による精度確認（着工前の精度確認）  
着工前にICT建設機械によるテスト作業を行い、その施工履歴データとTSで測定した3次元座標との標高差を算出し、測定精度を確認する。確認方法は、図-2.7に示す①、②のいずれかの方法により行い、記録することと定められている。

1つ目の確認方法は、実際に掘削整形作業を行った後、掘削整形した測点（16点以上）をTSにより測定する。

2つ目の確認方法は、実際に掘削整形作業が行えない場合として、施工履歴データとなるバケット刃先位置にプリズムを設置し、ICT建設機械による掘削整形作業に模した動作を行う。同時にバケット刃先位置に設置したプリズムをTSにより自動追尾計測する。



出典：3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）（第5編河川浚渫工編）

図-2.7 着工前の施工精度確認方法<sup>7)</sup>

上記の要領（案）で定められている事項は、陸上作業時での確認方法であり、河川浚渫工のバックホウ浚渫船においては、水中での動作確認をTSにより計測確認することは不可能である。実際の施工においては、水上もしくは陸上（護岸上）にてバックホウ浚渫船のバケット刃先にプリズムを設置し、気中にてバケットの姿勢を変えながら陸上のTSにより計測確認する方法がとられている。テスト作業による精度確認事例を図-2.8に示す。



図-2.8 テスト作業による精度確認事例

c) 施工期間中の日々の精度確認

作業日毎の始業前に1回、ICT建設機械が静止した状態で、施工履歴データの測定精度を1姿勢のみで確認する。陸上に設置した既知点にバケット刃先を置き、施工履歴データと既知点、またはTSによりバケット刃先を計測した座標を比較し、水平・標高差を算出する。バケット位置精度の確認事例を図-2.9に示す。



図-2.9 バケット位置精度の確認事例

施工時における管理システム全体の精度管理においては、ICT建設機械の①RTK-GNSSの位置精度、②RTK-GNSS及び角度センサ位置間の寸法計測誤差、③角度センサの出力精度、④ソフト処理の丸め誤差、⑤機械ガタ(刃先の摩擦を含む)、様々な誤差要因が考えられるため、現場における精度確認試験により精度管理を行う必要がある。

「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(第5編河川浚渫工編)」の精度確認試験実施手順書における、評価基準を表-2.4に示す。

表-2.4 精度確認試験での精度確認基準<sup>7)</sup>

試験モード	比較方法	精度確認基準	備考
テスト作業による精度確認	TS計測値と標高較差	標高較差: ±100mm以内	現場ごとに1回実施
静止状態での精度確認	既知点、又はTS計測値との水平・標高較差	水平・標高較差: 各±50mm以内	施工日ごとに1回実施

出典: 3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(第5編河川浚渫工編)

2.4 ICT海上地盤改良工(床掘工)での施工履歴データを用いた出来形管理の適用性

使用船舶機械や水深・波浪・潮流などの施工条件は河川浚渫工とは異なるが、ICT海上地盤改良工(床掘工)において、ICT浚渫工(河川)と同様にマシンガイダンス機能等による施工履歴データの取得が可能でその計測精度が確保されれば、出来形管理作業の効率化が期待されると考えられる。また、2.2(2)で述べたマルチビームによる出来形管理での懸念事項も解消され生産性の向上が期待できる。

(1) 先行研究における検討

吉野ら(2021)<sup>8)</sup>の研究において、ICT施工の更なる効率化を図るため、ICT海上地盤改良工(床掘工)でのICT管理について、機器メーカー2社および施工関連業者6社にヒアリング調査を実施し意見を取りまとめた。

ヒアリング調査結果を基に、ICT浚渫工(河川)との違いによる施工履歴データを用いた出来形管理の適用に向けた課題等について、以下の3項目が整理された。

- ①施工履歴を取得するグラブバケットの精度管理方法
- ②ICT建設機械の日々の精度確認方法
- ③施工履歴データの記録方法・種類

また、これら課題等への対応として以下の提案がなされた。

- ・複数の測量データ等を用いた様々な比較検証による証明が必要である。
- ・検証に必要なデータは、ICT海上地盤改良工(床掘工)において、グラブ浚渫船作業での浚渫施工管理システムを活用した実証実験・試行工事から比較検証が可能な測量データを収集することが求められる。
- ・収集した複数の測量データを用いた比較検証を行うにあたっては、港湾分野でのICT活用技術として、施工履歴データが出来形値として適用可能と判断するために、誤差が少なく許容範囲内であると証明することが必要である。
- ・新たな出来形管理方法を用いるために、ICTを活用するための新たな基準を定めることが必要である。

(2) グラブ浚渫船の浚渫施工管理システム特性

現在、床掘工で使用されるグラブ浚渫船においては、浚渫施工管理システムを装備し、施工管理に活用されている。浚渫施工管理システムを用いた施工管理における特性は以下のとおりである。

a) 掘削深度管理

掘削深度はグラブバケットの支持ワイヤーロープの繰り出し長からグラブバケット位置を算出し、システムモニターにその値が色分け表示される。また、掘削深度を予め設定しておくことで、グラブバケットを設定深度で停止する。グラブ浚渫船のオペレータは、システムモニターに表示される船舶位置・グラブバケット位置・掘削跡（色分け）を確認しながら、グラブバケットを所定の位置に旋回・投入し作業する。浚渫施工管理システムモニター表示画面事例を図-2.10 に示す。図中の⑤、⑥、⑦において、グラブバケットの中心位置座標（X, Y, Z）が取得され、施工履歴データ（CSV ファイル形式）として記録保存される。

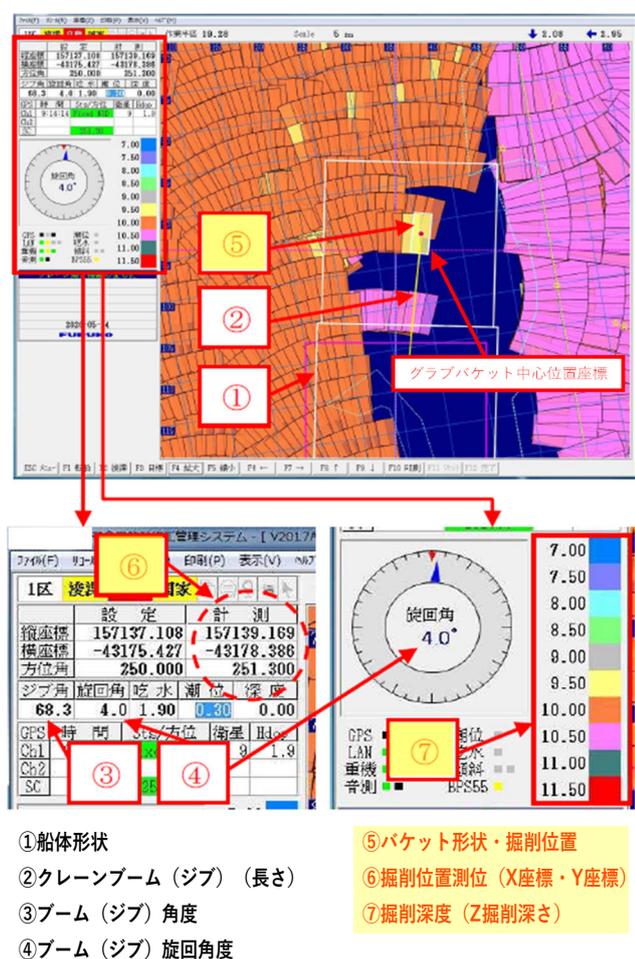


図-2.10 浚渫施工管理システム表示画面事例<sup>9)</sup>

b) 進捗管理

掘削範囲や掘削跡を画面表示し施工状況を可視化することにより、掘削済み箇所を正確に把握しながら作業が進められ、進捗管理及び今後の工程管理を適切に行うことができる。作業範囲表示画面事例を図-2.11 に示す。



図-2.11 作業範囲表示画面事例<sup>9)</sup>

c) 海底地形の把握

グラブ浚渫船によっては、周辺海底面を測深することができる多種多様な海底地形探知ソナー等を装備しているものもあり、これを用いて掘削箇所の地形変化をリアルタイムに確認することができる。海底地形探知ソナーによる海底地形形状事例を図-2.12 に示す。

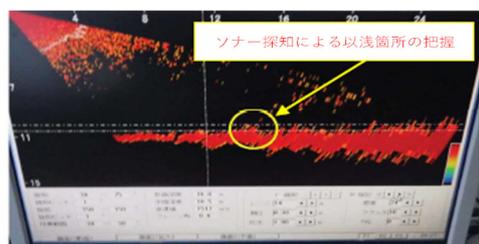


図-2.12 海底地形探知ソナーによる海底地形形状事例<sup>9)</sup>

(3) 施工履歴データの精度における課題

現在、浚渫施工管理システムの活用により掘削位置、深度および作業進捗を確認しながら施工を行うことにより、作業の効率化が図られ掘残し箇所を軽減し施工精度も向上されている。現状においては、施工時の施工履歴データを取得する技術としては、浚渫施工管理システムを活用する方法が最も有力である（図-2.10 参照）。

しかしながら、バックホウ浚渫船の ICT 建設機械によるマシンガイダンス機能と同様に、グラブ浚渫船のグラブバケット刃先軌道位置から施工履歴データを取得するには課題がある。先行研究におけるヒアリング調査で各業者から意見のあった課題を整理すると以下のとおりである。

- ① 支持ワイヤーロープで吊るグラブバケットの位置精度は、グラブバケットの転倒・回転・傾き等があり刃先位置を把握し管理することが難しい。
- ② クレーンの支持ワイヤーロープで吊るグラブバケットは、バックホウのような剛体構造ではないので、バックホウのような一連動作の把握が困難である。
- ③ 掘削深度は、グラブバケットの支持ワイヤーロープの繰り出し長で管理されていて、グラブバケット刃先位置によるものではない。

- ④ グラブバケット位置は、クレーンブームトップの直下にあるものとして管理されていて、実際の位置とは誤差が生じる。
- ⑤ 従来、浚渫施工管理システムはあくまで施工支援が目的で、出来形管理はシングルビーム音響測深機等により出来形測量が行われている。

図-2.13 に浚渫施工管理システムの仕組みから上記の課題について示す。

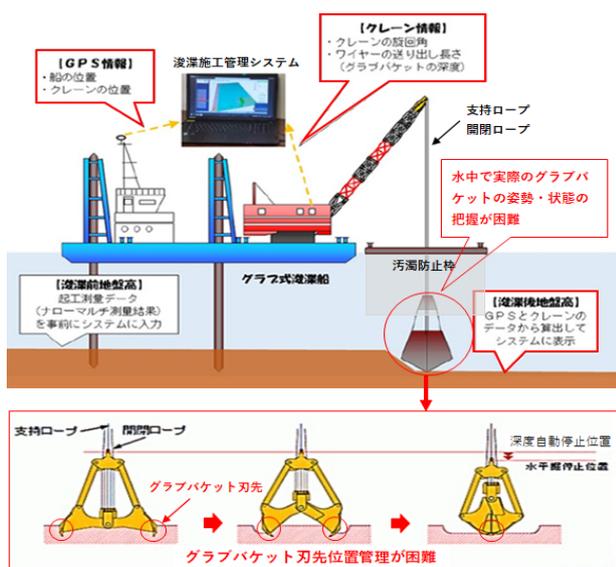


図-2.13 浚渫施工管理システムの仕組みと課題

現状のグラブ浚渫船の構造および技術では、陸上分野における ICT 建設機械のマシンガイダンス機能による刃先軌道位置からの施工履歴データ取得は不可能であると考えられる。ICT 海上地盤改良工（床掘工）における、施工履歴データを用いた出来形管理は、ICT 浚渫工（河川）の手法や基準類等を参考にしながら、グラブ浚渫船の特性や浚渫施工管理システムの特徴を考慮し、データの検証や基準類等の検討を重ね適用性を検討する必要がある。

### 3. ICT 海上地盤改良工（床掘工）の現地試験による検証

#### 3.1 現地試験の概要

国土交通省 関東地方整備局発注の「令和 2 年度 横浜港新本牧地区護岸（防波）東側築造工事」において、グラブ浚渫船を用いた海上地盤改良工（床掘工）での、浚渫施工管理システムの施工履歴データによる出来形評価を行うことを目的に、2021 年 5 月～10 月の床掘施工期間中に現地試験を実施した。

- (1) 現地試験場所の概要  
 試験場所：横浜港新本牧地区  
 試験範囲：16,627.5m<sup>2</sup>（底面 L168.38m×B98.75m）  
 設計水深：-27.5m（設計法勾配 1：2）

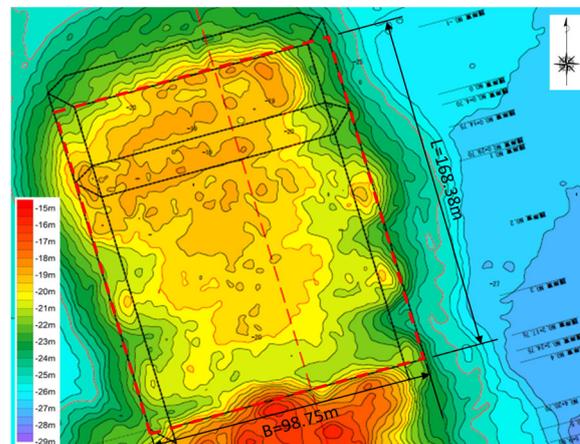


図-3.1 現地試験範囲（深浅図）

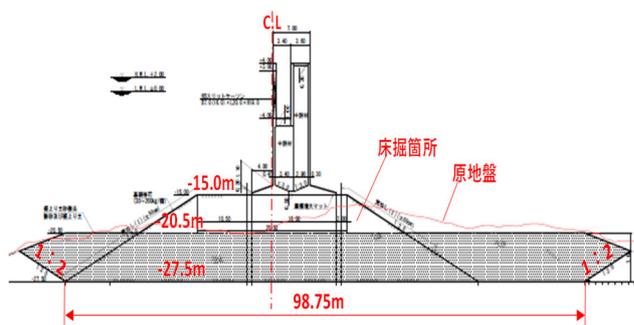


図-3.2 床掘断面図

- (2) 使用船舶機械の仕様  
 使用船舶：グラブ浚渫船（グラブバケット容量 36m<sup>3</sup>、形状 L9.1m×W3.3m、重量 95t）  
 船体寸法：L65.0m×B25.0m×H6.0m  
 喫水：3.0m  
 総トン数：2.880t



図-3.3 鋼 D36m<sup>3</sup> グラブ浚渫船

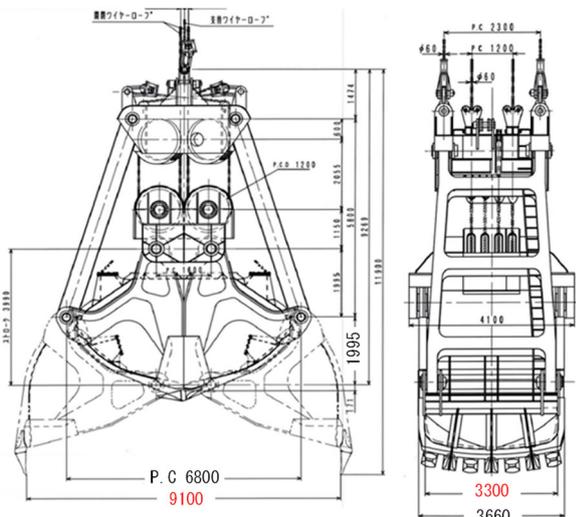


図-3.4 鋼 D36m<sup>3</sup> グラブバケット姿図

### (3) 実地試験内容

床掘仕上げ施工時のグラブ浚渫船に装備された、浚渫施工管理システムから取得した施工履歴データと床掘完了後に行う従来方式であるシングルビーム音響測深機による出来形測定値とを比較し、誤差が出来形許容範囲内であるかを検証し評価する。

### (4) 実地試験での床掘施工方法

実地試験範囲の床掘土厚は約 7m あるので、図-3.5 に示す順序で施工する。1 層当たり 2.5m 程度の層状で、最終底面厚 2.0m を残した状態まで荒掘りを行う。床掘仕上げ面を精度よく上げるため、最終底面厚を 1.2m と 0.8m の 2 回に分け、設計水深-27.5m に仕上げる。



図-3.5 床掘施工順序

なお、図-3.6、図-3.7 に示すグラブ浚渫船の水平掘機能により、底面部および法面部の仕上げ掘りを行う。これにより 1 バケット掘削面の床掘仕上げ面が一様に平坦となる。

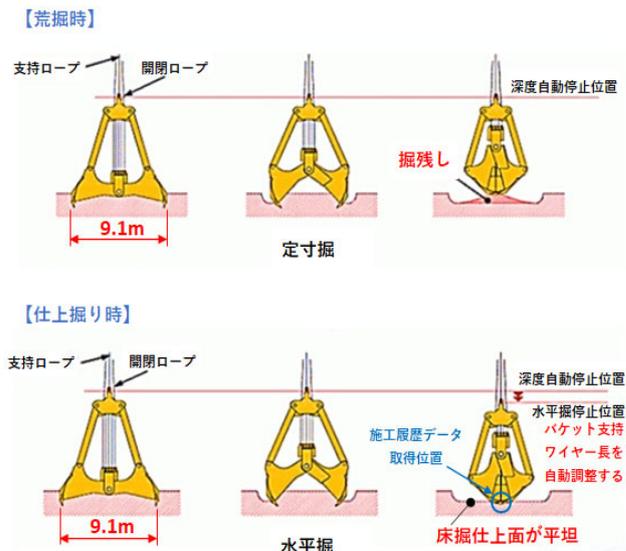


図-3.6 荒掘と仕上げ掘りの概要図

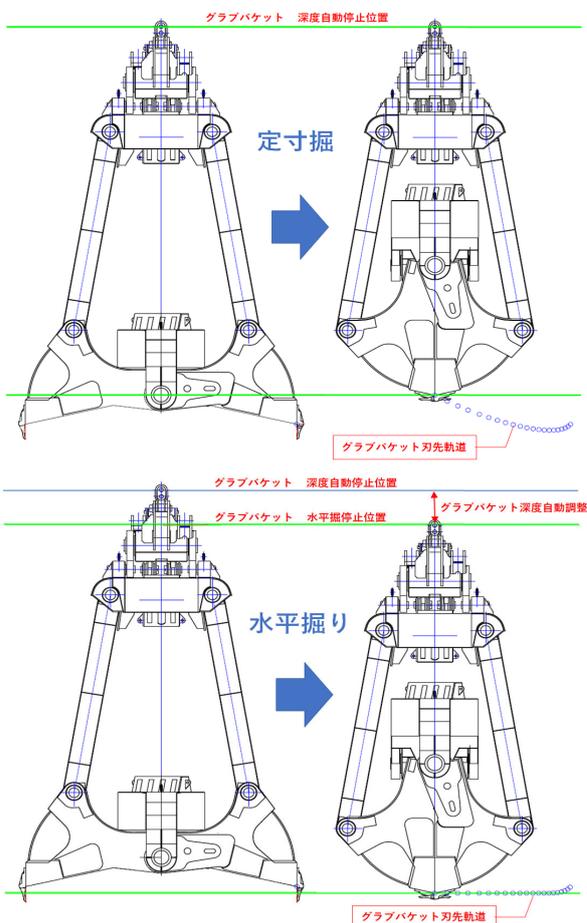


図-3.7 定寸掘と水平掘りグラブバケット軌跡図

## 3.2 実地試験での施工履歴データの取得・処理方法

浚渫施工管理システムから取得した施工履歴データによる出来形評価を行うため、今回採用した施工履歴データの取得・処理方法について整理する。

(1) 施工履歴データの取得方法

掘削する深度にグラブバケットの深度設定を行い、所定位置に移動させ掘削し、グラブバケットが閉口した時点での刃先中心位置 1 点を施工履歴データとして取得する(図-3.8 参照)。

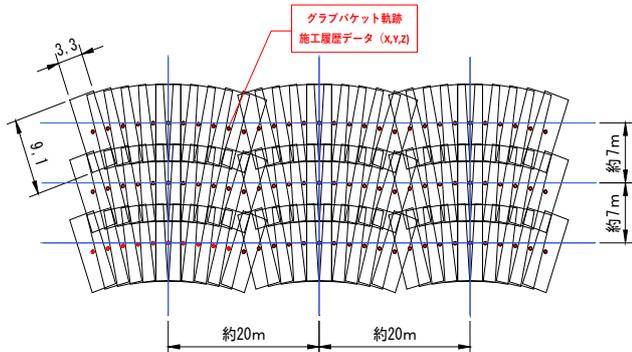


図-3.8 グラブバケット軌跡イメージ図

浚渫施工管理システムより出力される施工履歴データは、表-3.1 に示す CSV ファイル形式となる。この施工履歴データを基に出来形評価用の点群データを作成し、出来形評価と出来形管理資料に供する。

表-3.1 施工履歴データ出力例

浚渫実績詳細データ【工事】								
2021年05月24日 00:00:00 ~ 2021年05月24日 23:59:59								
【工区】工区1								
【使用グラブ】 グラブ大【W】 3.40【H】 9.10【m】 X Y Z								
No	日付	時間	ライン	収座標(緯)	横座標(経)	方位角	潮位	深度
1	2021年5月24日	07:52:12	1	-63668.3	-12102.3	255.67	0.64	26.4
2	2021年5月24日	07:55:09	1	-63669.5	-12101.7	251.15	0.64	26.4
3	2021年5月24日	07:57:33	1	-63671.7	-12101.3	245.88	0.63	26.4
4	2021年5月24日	07:59:58	1	-63673.5	-12100.9	240.99	0.62	26.4
5	2021年5月24日	08:02:20	1	-63675.6	-12100.1	235.7	0.6	26.4
6	2021年5月24日	08:05:11	1	-63677.5	-12099.5	230.86	0.6	26.4
7	2021年5月24日	08:08:01	1	-63679.1	-12099	226.85	0.59	26.4
8	2021年5月24日	08:17:44	1	-63670.2	-12109.9	255.59	0.56	26.5
9	2021年5月24日	08:20:27	1	-63672.5	-12109.2	250.34	0.55	26.7
10	2021年5月24日	08:23:11	1	-63673.9	-12108.5	245.81	0.55	26.7
11	2021年5月24日	08:25:58	1	-63675.4	-12107.8	241.05	0.54	26.6
12	2021年5月24日	08:28:34	1	-63676.9	-12106.8	236.13	0.54	26.6

(2) 出来形評価における施工履歴データの処理方法

今回の実地試験において、ICT 海上地盤改良工(床掘工)における施工履歴データを用いた出来形計測および出来形管理の方法を規定する基準類がないため、基本的なデータ処理等の手順は、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(河川浚渫工編)」の施工履歴データに関する部分を参照し行う。

ICT 浚渫工(河川)の基準類に準じた計測密度(1m×1m=1m<sup>2</sup>あたり1点以上)で出来形評価を行う場合、グラブバケットの一度に掘削する面積が広いいため、グラブバケット中心位置で取得する施工履歴データの計測密度(3.3m×

9.1m=30.03 m<sup>2</sup>あたり1点)は著しく小さい。そのため、今回の実地試験では、ICT 浚渫工(河川)の基準類に準じた計測密度で出来形評価を行うにあたり、図-3.9 の手順にて施工履歴データの処理を行うものとする。

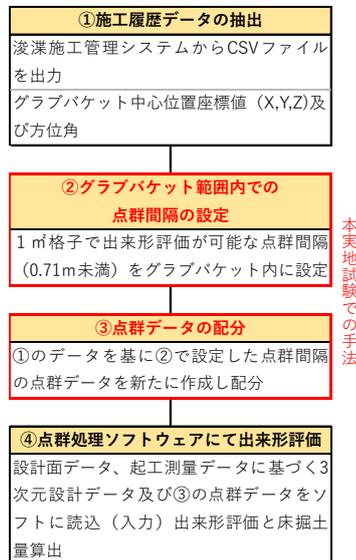


図-3.9 施工履歴データの出来形評価フロー図

図-3.9 の②グラブバケット範囲内での点群間隔の設定について、河川浚渫工で規定される計測対象範囲内で、出来形評価のための計測密度 1m<sup>2</sup>(1m×1mメッシュ)あたり1点以上の点群データが得られるよう、グラブバケット範囲内の点群間隔を 0.71m 未満に設定する。これにより、図-3.10 に示すとおり点群がどこに出現しても、点群データが 1 点/m<sup>2</sup>以上を満足する。

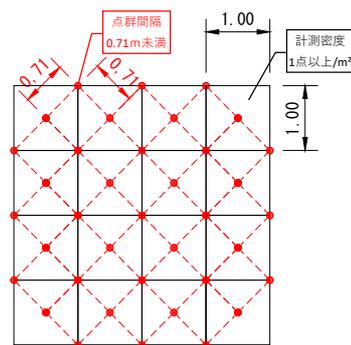


図-3.10 点群間隔の設定根拠図

次に、図-3.9 の③点群データの配分について、1m<sup>2</sup>(1m×1mメッシュ)あたり1点以上の計測密度で点群データが得られるよう、今回使用するグラブバケット(9.1m×3.3m)内に、施工履歴データを 0.66m×0.70m のメッシュに配分する。

今回は、バケット中心の施工履歴データ 1 点から、84 点 / バケットの点群データを全バケット数分作成し、出来形評価用データとする（図-3.11 参照）。配分するそれらの点群データは、浚渫施工管理システムから出力される施工履歴データおよびバケットの方位角（表-3.1 参照）の値を用いて、CSV ファイル形式で新たに作成する。

ただし、バケット範囲内で配分する点群データの深度 (Z) は、3.1 (4) に前記したとおり、1 バケット掘削面は一律に平坦であることを前提とし、1 バケット内全数同一値とする。また、出来形評価を行う際は、1m メッシュ内の点群データの最深値を採用する（図-3.12 参照）。

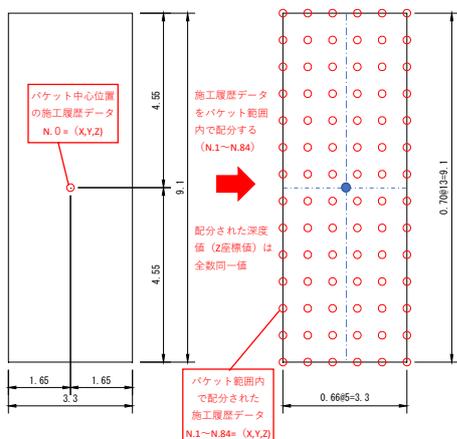


図-3.11 施工履歴データ配分図

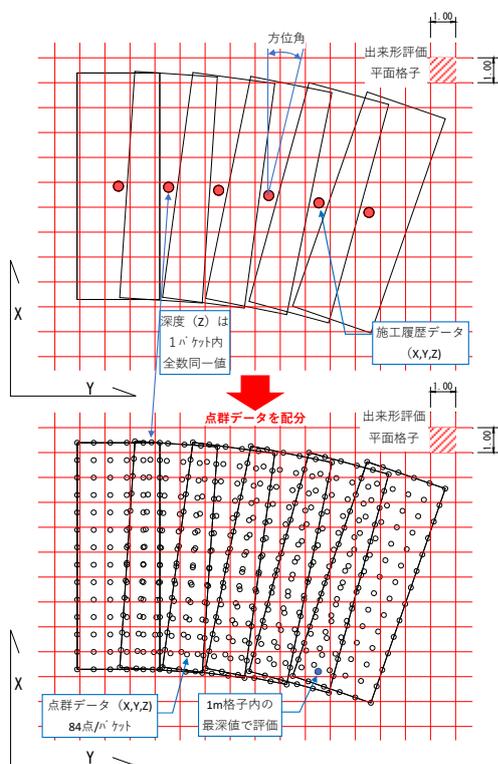


図-3.12 出来形評価用点群データ配分イメージ図

(3) 施工における底面・法面部の施工履歴データの取得・処理方法

実地試験での底面・法面部の施工における、施工履歴データの取得・処理方法について整理する。

a) 底面部の施工履歴データ取得・処理方法

底面部の施工方法は、図-3.13 に示すとおり層厚 2.5m 程度で層状に荒掘りにて掘下げ、最終層 (4 層目) の層厚 0.8m で出来形管理基準値 (±0.3m) の範囲に収まるよう仕上げ掘りを行い、荒掘りから仕上げ掘りの各層において施工履歴データを取得し記録・保存する。

底面部の掘進方向は、施工区域や施工時の制約条件（隣接工区との兼ね合い等）に伴い、図-3.14 に示す法線直角方向にて掘進する。掘残しがないよう床掘仕上げ面全体をグラブバケットが一樣に網羅し掘削することにより、施工履歴データを床掘仕上げ面全体に取得する。

図-3.14 を例に挙げると、施工履歴データは 11 バケット × 7 × 2 列 = 154 点取得することになり、このデータを基に出来形評価用点群データを 154 点 × 84 点 / バケット = 12,936 点、CSV ファイル形式で作成することになる。

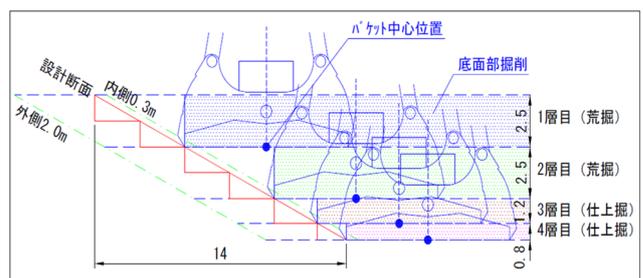


図-3.13 底面部掘進（法線直角方向）イメージ断面図

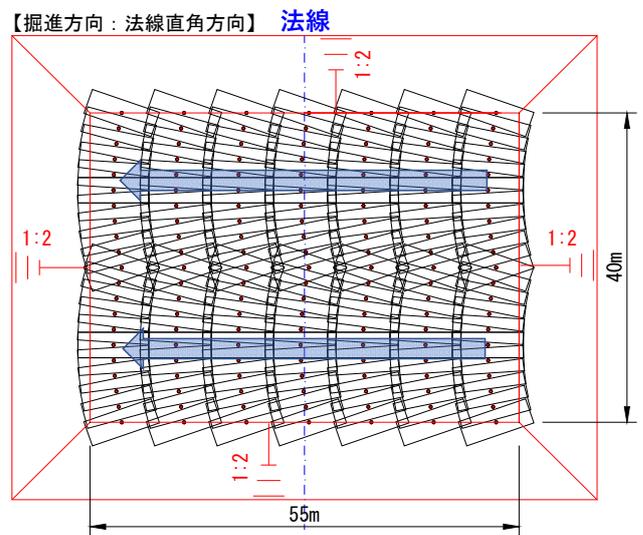


図-3.14 底面部掘進（法線直角方向）イメージ平面図

b) 法面部の施工履歴データ取得・処理方法

法面部の施工方法は、図-3.15 に示すとおり底面部分を 1 層掘削する毎に、H1.25m× W2.5m の断面で 2 段掘りにて掘削し、設計法勾配 (1:2) および出来形管理基準値 (内側 0.3m, 外側 2.0m (法面に直角)) の範囲に収まるよう仕上げ掘りを行い、各段にて施工履歴データを取得し記録・保存する。

法面部の掘進方向は、図-3.16 に示す法面直角方向にグラブバケット幅 3.3m をスライドさせ掘進する。

図-3.16 を例に挙げると、施工履歴データは 70 バケツト×6 段+19 バケツト×4 箇所 (隅角部) =496 点取得することになり、このデータを基に出来形評価用の点群データを 496 点×84 点/バケツト=41,664 点、CSV ファイル形式で作成することになる。

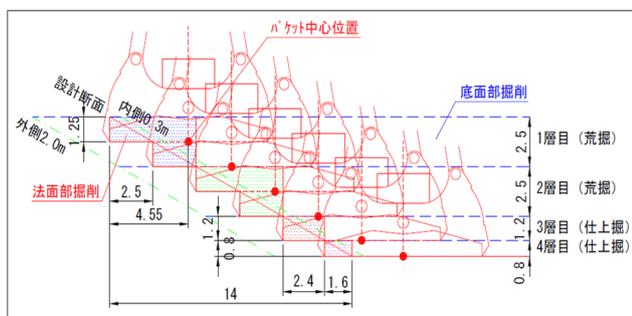


図-3.15 法面部掘進 (法面直角方向) イメージ断面図

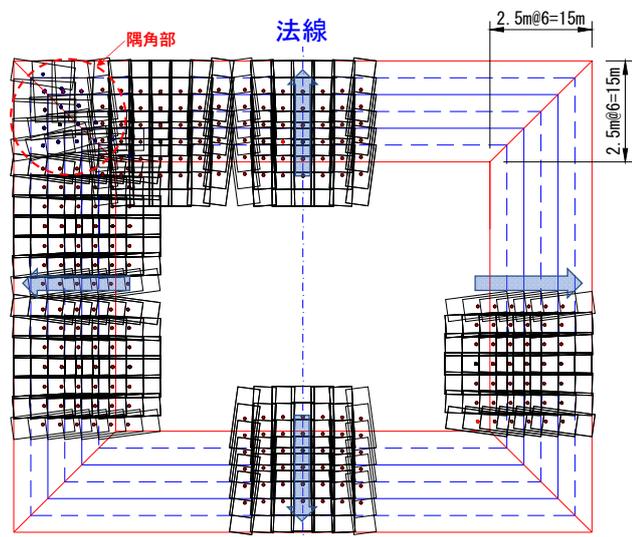


図-3.16 法面部掘進 (法面直角方向) イメージ平面図

3.3 実地試験結果

実地試験での結果を以下の 4 項目に整理した。

- (1) シングルビーム出来形測定と施工履歴データの測定結果
- (2) 施工履歴データによる出来形帳票作成ソフトウェアを用いた出来形評価結果
- (3) グラブバケットの設定深度と施工履歴データの誤差
- (4) 床掘数量算出結果

(1) シングルビーム出来形測定と施工履歴データの測定結果

床掘施工完了後に、図-3.17 に示す範囲を従来方式であるシングルビーム音響測深機によって、測線間隔 10m にて底面部 209 点、法面部 64 点の出来形測定を行った。

各測点でのシングルビーム出来形測定値と各測点近傍位置の 1m メッシュ内の点群データ最深値とを底面部および法面部毎に比較し、施工履歴データによる出来形実態を検証した。尚、計測したシングルビーム出来形測定値および施工履歴データ値は、付録 A 図-A.1, 表-A.1, 表-A.2 に示す。

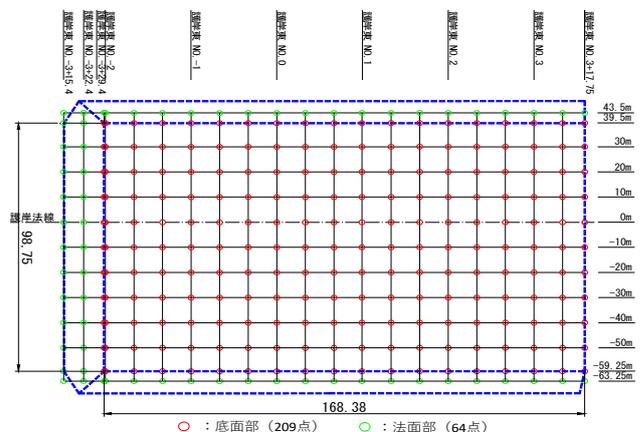


図-3.17 床掘出来形測定平面図

a) 底面部の出来形測定結果

図-3.18 より、シングルビーム出来形測定値は全て出来形管理基準値 (±0.3m) を満足している。施工履歴データは全データ 209 点の内、92 点 (全体の 44%) が出来形管理基準値から外れる結果となり、管理基準値外データの内、設計値との差分+0.4m (水深-27.1m) が 81 点 (管理基準値外の 88%) と最も多く占める結果となった。出来形測定平均値は、シングルビーム出来形測定値が±0.0m (水深-27.5m) に対し、施工履歴データは+0.4m (水深-27.1m) であった。また、施工履歴データは、シングルビーム出来形測定値に比べ、全体的に浅い (+方向) 傾向となった。

床掘出来形比較（底面部）



図-3.18 床掘出来形比較（底面部）

施工履歴データとシングルビーム出来形測定値との測定差による、施工履歴データの精度検証を測線 NO.3+10～NO.-2、距離 30m～-50m の範囲で行った。表-3.2 に施工履歴データとシングルビーム出来形測定値との測定差を示す。なお、表-3.2 において、測線 NO.1～NO.3+10 の範囲の施工履歴データは、測点 72 点の全てが出来形管理基準値を満たしており、測線 NO.0+20～NO.-2 の範囲の施工履歴データは、測点 14 点/81 点が出来形管理基準値を満たしている。

表-3.2 施工履歴データとシングルビーム出来形測定値との差

施工履歴データとシングルビーム出来形測定値との差 (m)													
測線	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	平均値	標準偏差		
NO.-2	0.5	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	+0.43	0.15		
NO.-2+10	0.4	0.6	0.3	0.2	0.5	0.3	0.4	0.6	0.2				
NO.-2+20	0.6	0.7	0.0	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.7				
NO.-1	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4	0.3				
NO.-1+10	0.1	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3				
NO.-1+20	0.4	0.6	0.5	0.6	0.7	0.3	0.4	0.5	0.4				
NO.0	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	0.2	0.2	0.5	0.4				
NO.0+10	0.3	0.2	0.5	0.3	0.6	0.4	0.3	0.3	0.5				
NO.0+20	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.3	0.4	0.3	0.6				
NO.1	0.3	0.2	0.3	0.5	0.2	0.1	0.3	0.4	0.3				
NO.1+10	0.0	0.3	-0.1	0.2	0.2	0.1	0.4	0.2	0.3	+0.22	0.13		
NO.1+20	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4				
NO.2	0.3	0.4	0.2	0.4	0.2	0.5	0.1	0.4	0.1				
NO.2+10	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.0	0.1				
NO.2+20	0.1	0.1	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2				
NO.3	0.4	0.4	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1				
NO.3+10	0.2	0.4	0.3	0.2	0.0	0.2	0.3	0.1	0.2				
平均値												+0.33	
標準偏差													0.17

：施工履歴データ出来形管理基準値内  
(測定差 ΔX = 施工履歴データ - シングルビーム出来形測定値)

表-3.2 における、施工履歴データとシングルビーム出来形測定値との測定差の分布状況を図-3.19 に示す。シングルビーム出来形測定値に対し、施工履歴データは全体的に

浅い(+方向)傾向にあり、全体平均で0.33m浅く、標準偏差σ=0.17mであった。

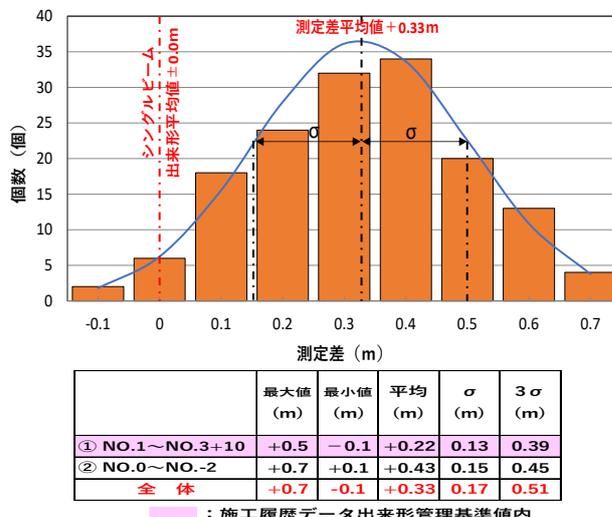


図-3.19 シングルビーム出来形測定値と施工履歴データとの測定差の分布

b) 法面部の出来形測定結果

図-3.20 より、シングルビーム出来形測定値は全て出来形管理基準値(図-3.21 参照)を満足している。施工履歴データは全データ 64 点の内、6 点(全体の 9%)が出来形管理基準値から外れる結果となった。出来形測定平均値は、シングルビーム出来形測定値が-0.6m に対して、施工履歴データは-1.3m であった。また、施工履歴データは、シングルビーム出来形測定値に比べ、全体的に深い(-方向)傾向となった。

床掘出来形比較（法面部）

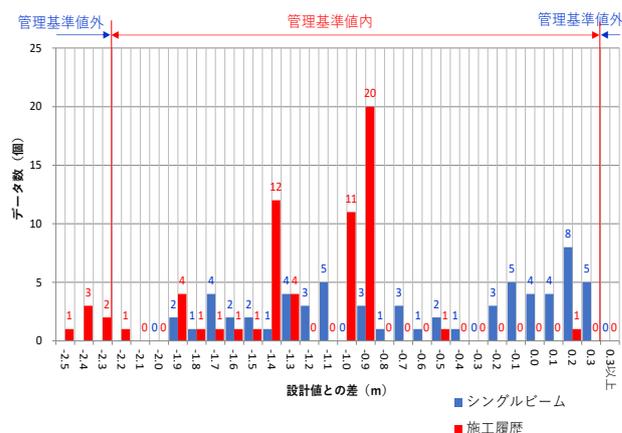


図-3.20 床掘出来形比較（法面部）

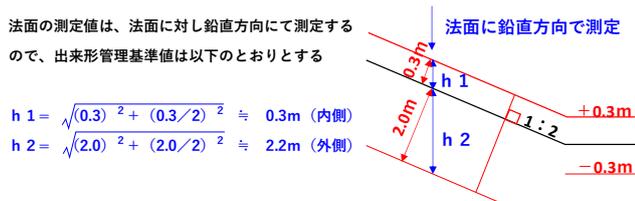


図-3.21 法面部の出来形管理基準値

(2) 施工履歴データによる出来形帳票作成ソフトウェアを用いた出来形評価結果

実地試験での施工履歴データによる出来形帳票作成ソフトウェアを用いて、出来形評価を行った。

設計値と出来形評価用データの各ポイントとの標高較差を算出し、出来形の良否を標高較差の管理基準値に対する割合を示す分布図（ヒートマップ）として明示する。管理基準値の-100%～+100%の範囲で出来形評価用データのポイント毎に結果を示す色をプロットする。また、管理基準値外については、-100%～+100%の範囲とは別の色で明示する。

なお、ICT 海上地盤改良工（床掘工）における、施工履歴データを用いた出来形計測および出来形管理の方法を規定する基準類がないため、「3 次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）（河川浚渫工編）」の施工履歴データに関する部分を参照し、前述の 3.2 (2) による施工履歴データの処理を行い、出来形評価を行った。出来形評価結果を図-3.22、表-3.3 に示す。

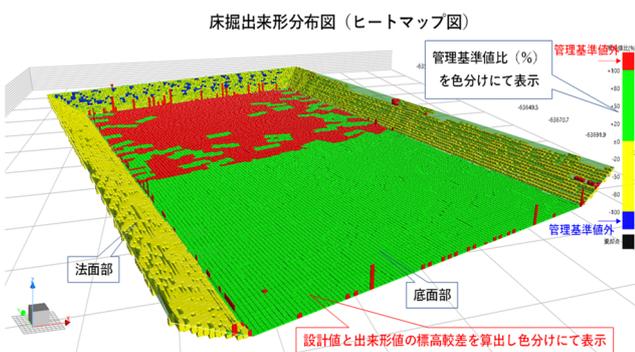


図-3.22 床掘出来形管理図

表-3.3 施工履歴データによる出来形評価結果一覧表

	出来形評価用データ数	管理基準値外データ数	管理基準値外の割合
底面部	16,988	6,883	40.5%
法面部	6,508	307	4.7%
	出来形最大値（差）	出来形最小値（差）	出来形平均値
底面部	+6.1m	+0.1m	+0.3m
法面部	+2.1m	-3.0m	-1.1m

出来形管理基準値 底面：±0.3m、法面：内側0.3m、外側2.2m（法面に鉛直）

底面・法面部における、施工履歴データの出来形規格値比による分布を図-3.23、図-3.24 に示す。

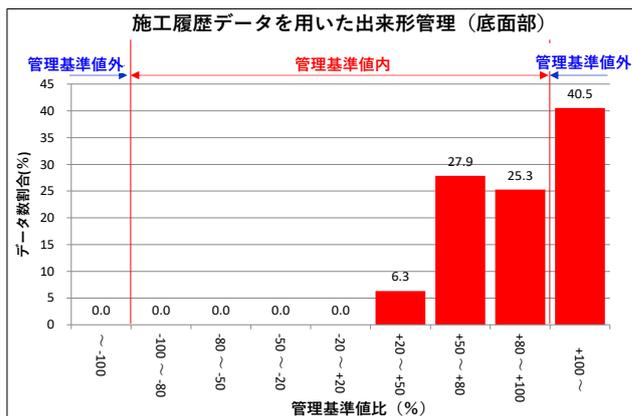


図-3.23 床掘出来形ヒストグラム（底面部）

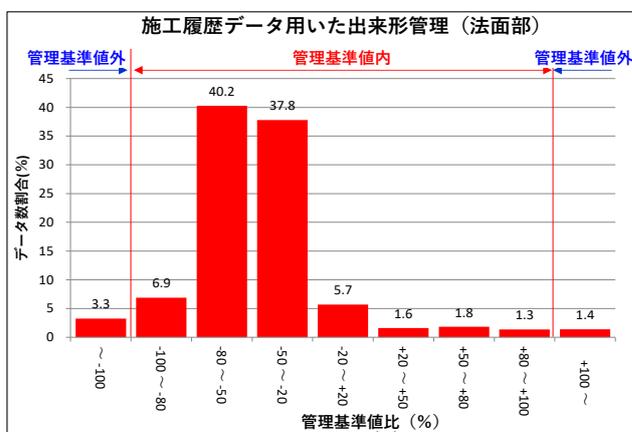


図-3.24 床掘出来形ヒストグラム（法面部）

(3) グラブバケットの設定深度と施工履歴データの誤差（底面部）

今回の実地試験は、図-3.25 に示すように床掘施工範囲を①期と②期に分けて行い、底面部の施工においては、グラブバケットの設定深度を図-3.26 に示すとおり、①期は-27.2m、②期は-27.1m に変えて施工を行った。

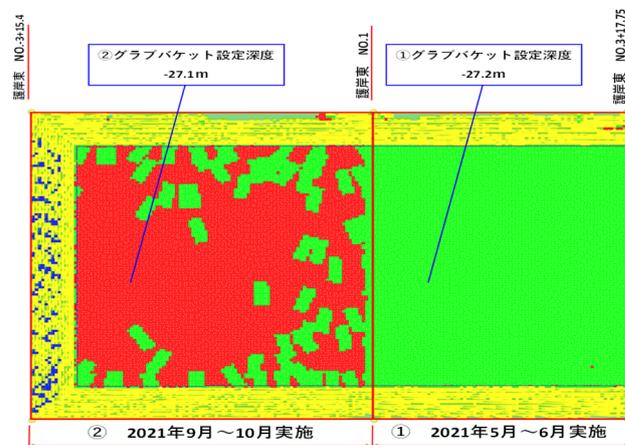


図-3.25 実地試験における施工区分



図-3.26 底部部の施工におけるグラブバケット設定深度

グラブバケットの設定深度を変えたことによって、施工履歴データに変化が見られるか検証した。グラブバケット設定深度と施工履歴データとの差の分布を図-3.27、図-3.28に示す。なお、①期、②期での施工履歴データ（底部部）を付録A表-A.3、表-A.4に示す。

図-3.27より、設定深度-27.2m以深の施工履歴データの割合は、全体の約99.5%を占め、設定深度と施工履歴データの平均差は-0.1mであった。

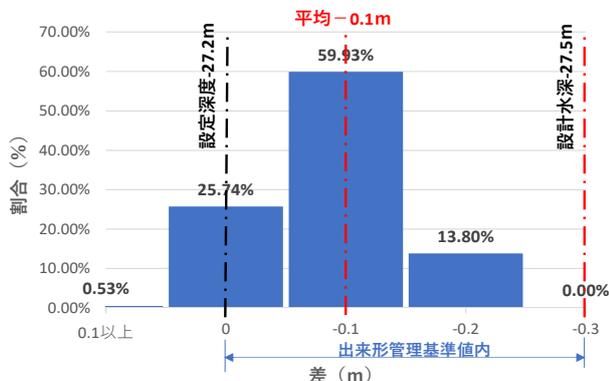


図-3.27 設定深度-27.2mと施工履歴データの差

図-3.28より、設定深度-27.1m以深の施工履歴データの割合は、全体の約99.2%を占め、設置深度と施工履歴データの平均差は±0.0mであった。また、設定深度を10cm浅くしたことにより、施工履歴データも同時に浅くなり、設計水深との差が+0.4mの施工履歴データが約73.6%占め、出来形管理基準値を外れる結果となった。

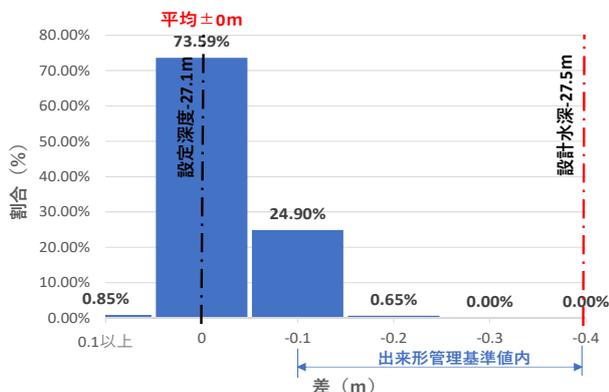


図-3.28 設定深度-27.1mと施工履歴データの差

図-3.27、図-3.28より、グラブバケット設定深度よりも浅い1%未満の施工履歴データは、何らかの要因による異常点とみなした上で、グラブバケット設定深度と施工履歴データの誤差は、概ね±0.0m～-0.2mであると思われる。

次に、グラブバケットの設定深度を変えたことによって、シングルビーム出来形測定値に変化が見られるか検証した。底部部のシングルビーム出来形測定結果を表-3.4に示す。シングルビーム出来形測定平均値は、①期、②期共に-27.5mで、グラブバケット設定深度を10cm変えたことによる、シングルビーム出来形測定値に変化は見られなかった。

表-3.4 シングルビーム出来形測定結果

測深(m)	②期施工 出来形測定値										①期施工 出来形測定値									
	No.-3	No.-2	No.-2	No.-2	No.-1	No.-1	No.0	No.0	No.0	No.0	No.1	No.1	No.1	No.2	No.2	No.2	No.3	No.3	No.3	
39.5m	-27.2	-27.3	-27.8	-27.7	-27.6	-27.5	-27.7	-27.2	-27.4	-27.6	-27.2	-27.2	-27.4	-27.6	-27.6	-27.4	-27.5	-27.3		
30m	-27.7	-27.6	-27.5	-27.8	-27.7	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5	-27.6	-27.6	-27.3	-27.6	-27.6	-27.4	-27.6	-27.5	-27.5		
20m	-27.2	-27.8	-27.7	-27.8	-27.7	-27.6	-27.8	-27.7	-27.4	-27.7	-27.5	-27.6	-27.7	-27.6	-27.4	-27.6	-27.6	-27.5		
10m	-27.2	-27.6	-27.4	-27.2	-27.6	-27.5	-27.6	-27.6	-27.5	-27.6	-27.2	-27.6	-27.5	-27.4	-27.2	-27.3	-27.5	-27.6		
0m	-27.4	-27.5	-27.3	-27.6	-27.6	-27.5	-27.7	-27.7	-27.5	-27.6	-27.7	-27.5	-27.6	-27.7	-27.6	-27.4	-27.3	-27.5		
-10m	-27.2	-27.5	-27.6	-27.5	-27.5	-27.5	-27.8	-27.6	-27.7	-27.7	-27.4	-27.5	-27.6	-27.6	-27.4	-27.4	-27.6	-27.2		
-20m	-27.3	-27.5	-27.4	-27.5	-27.7	-27.4	-27.4	-27.3	-27.6	-27.3	-27.4	-27.3	-27.6	-27.8	-27.6	-27.4	-27.4	-27.4		
-30m	-27.3	-27.5	-27.5	-27.7	-27.5	-27.4	-27.5	-27.3	-27.4	-27.5	-27.5	-27.7	-27.7	-27.5	-27.6	-27.5	-27.3	-27.5		
-40m	-27.5	-27.5	-27.7	-27.7	-27.5	-27.5	-27.6	-27.6	-27.5	-27.5	-27.6	-27.4	-27.6	-27.7	-27.3	-27.5	-27.5	-27.4		
-50m	-27.6	-27.3	-27.3	-27.8	-27.4	-27.4	-27.5	-27.5	-27.6	-27.7	-27.5	-27.6	-27.6	-27.4	-27.4	-27.5	-27.4	-27.6		
-59.25m	-27.5	-27.6	-27.8	-27.4	-27.7	-27.4	-27.5	-27.6	-27.8	-27.6	-27.3	-27.6	-27.6	-27.3	-27.3	-27.2	-27.2	-27.4		
平均	-27.5										-27.5									

(4) 床掘数量算出結果

施工履歴データ、起工測量計測データから、それぞれの面データとしてTIN (Triangula Irregular Network) からなる面データを作成し、プリズモイダル法により算出した床掘数量(図-3.29参照)とシングルビーム出来形測定値から断面図を作成し、平均断面法にて算出した床掘数量(表-3.5参照)を比較した。なお、施工履歴データからの床掘数量算出にあたっては、「3次元データを用いた港湾工事数量算出要領(海上地盤改良工：床掘工・置換工編)」<sup>10)</sup>に基づき、出来形帳票作成ソフトウェアを用いて行った。

表-3.6より、床掘数量は、シングルビーム出来形測定値による数量と施工履歴データによる数量は、ほぼ誤差がない結果となった。

表-3.5 床掘数量計算書 (シングルビーム)

床掘土量数量計算書(シングルビーム)				
測線	延長 (m)	面積 (m <sup>2</sup> )	平均面積 (m <sup>2</sup> )	床掘数量 (m <sup>3</sup> )
No. 3+17.75	0.00	883.42		0.00
No. 3+10.00	7.75	667.01	775.22	6,007.92
No. 3+0.00	10.00	694.71	680.86	6,808.60
No. 2+20.00	10.00	738.84	716.78	7,167.75
No. 2+10.00	10.00	767.61	753.23	7,532.25
No. 2+0.00	10.00	794.18	780.90	7,808.95
No. 1+20.00	10.00	816.24	805.21	8,052.10
No. 1+10.00	10.00	797.36	806.80	8,068.00
No. 1+0.00	10.00	827.69	812.53	8,125.25
No. 0+20.00	10.00	864.30	846.00	8,459.95
No. 0+10.00	10.00	828.08	846.19	8,461.90
No. 0+0.00	10.00	865.91	847.00	8,469.95
No. -1+20.00	10.00	855.57	860.74	8,607.40
No. -1+10.00	10.00	870.24	862.91	8,629.05
No. -1+0.00	10.00	858.07	864.16	8,641.55
No. -2+20.00	10.00	897.31	877.69	8,776.90
No. -2+10.00	10.00	914.49	905.90	9,059.00
No. -2+0.00	10.00	900.00	907.25	9,072.45
No. -3+29.40	0.60	881.94	890.97	534.58
No. -3+22.40	7.00	694.68	788.31	5,518.17
No. -3+15.40	7.00	321.08	507.88	3,555.16
合計				147,356.88

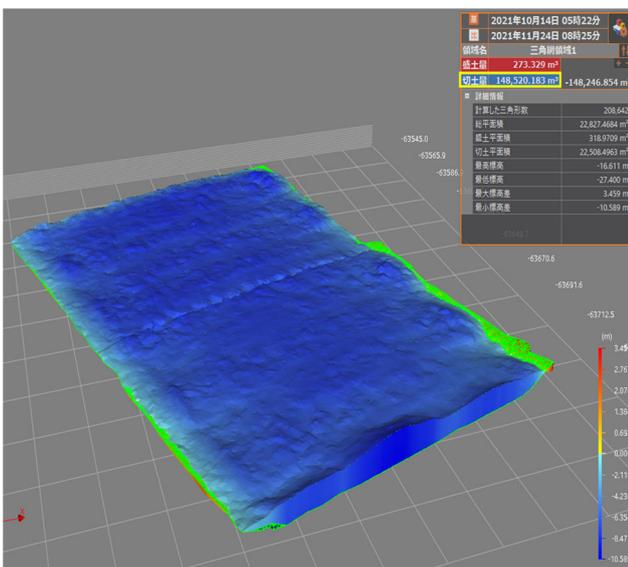


図-3.29 床掘数量計算書 (施工履歴データ)

表-3.6 床掘数量算出結果一覧表

	床掘数量 (m <sup>3</sup> )	差 (m <sup>3</sup> )		
		②-①	③-①	③-②
① 設計	147,946			
② シングル	147,357	-589	574	1,163
③ 施工履歴	148,520			
対設計比		0.996	1.004	---
施工履歴/シングル比		---	---	1.008

(5) 実地試験結果のまとめ

- ① 施工完了後のシングルビーム出来形測定値は、出来形管理基準値を満足している。一方、浚渫施工管理システムから取得した施工履歴データは、「3次元計測技術を用いた出来形要領(案)(河川浚渫工編)」の手法で出来形評価を行ったところ、底面部で40.5%、法面部で4.7%が管理基準値外となった。
- ② 底面部において、施工履歴データとシングルビーム出来形測定値との測定差を比較すると、シングルビーム出来形測定値に対し、施工履歴データは全体的に浅い(+方向)傾向にあり、全体平均で0.33m浅く、標準偏差σ=0.17mであった。

この要因として、グラブバケットの設定深度を-27.2m~-27.1m(設計水深との差+0.3m~+0.4m)に設定し施工したことから、施工履歴データが全体に浅く(+方向)なったものと考えられる。また、グラブバケット設定深度と施工履歴データには、概ね±0.0m~-0.2mの誤差が生じるものと考えられ、施工履歴データは、グラブバケット設定深度と同値か、深い値(-方向)になるものと考えられる。実地試験結果から、シングルビーム出来形測定平均値、施工履歴データ平均値、およびグラブバケット設定深度の相関図を図-3.30に示す。

施工履歴データとシングルビーム出来形測定値の測定差には、グラブバケット設定深度と施工履歴データとの誤差の他に、+αの測定差が生じるものと考えられる。



図-3.30 各測定値の相関図

- ③ 法面部において、図-3.15、図-3.31に示すように段掘り施工により、設計法面に対して食込んだ掘削となるため、施工履歴データは設計値に対し平均1.1m深く(-方向)なった。また、出来形評価を行う際に点群データの最深値を採用したことも深くなった一因と思われる。

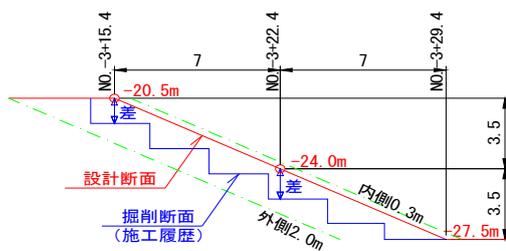


図-3.31 法面掘削断面図

- ④ 床掘数量において、施工履歴データによる数量は、シングルビーム出来形測定値による数量と大きな差はなく、底面部の施工履歴データは設計水深より平均0.3m浅かったが、法面部は設計法面より平均1.1m深かったことにより、設計数量に対し0.4%増となった。
- ⑤ 今後の実地試験を行う上で、検証を行う際の照査方法や施工履歴データの処理・出来形評価方法を検討する必要があり、様々な条件下での実地試験から検証に必要な計測データを収集し、施工履歴データの精度を明確にした上で出来形管理基準との整合性を検証する必要がある。

### 3.4 施工履歴データを用いた出来形管理における考慮すべき事項

今回の実地試験の手法・結果を基に、浚渫施工管理システムによる施工履歴データを用いた出来形管理への導入に向けた、更なる検証に必要な実地試験や基準類等を整備するにあたっての考慮すべき事項について、以下の3項目で整理する。

- (1) 平面格子サイズと出来形評価方法
- (2) 施工方法による施工履歴データ取得
- (3) 施工管理システムの精度確認方法

#### (1) 平面格子サイズと出来形評価方法

グラブバケットは一度に掘削する面積が広いいため、グラブバケット中心位置で取得する施工履歴データの計測密度は、既存のマルチビームやマシンガイダンス等による面的な出来形計測技術と比べ著しく小さい。

そのため、図-3.32 に示すように、ICT 浚渫工や ICT 浚渫工（河川）の要領で規定される、1m 平面格子サイズ内の点群データによる出来形評価を行う場合、1m 平面格子とグラブバケット中心位置1点の施工履歴データが、一致した箇所のみが出来形評価対象となり、施工範囲内を面的に管理することが不可能であることから、施工履歴データによる出来形評価を行うために必要な、平面格子サイズの設定および出来形評価方法については、今後の課題と考える。

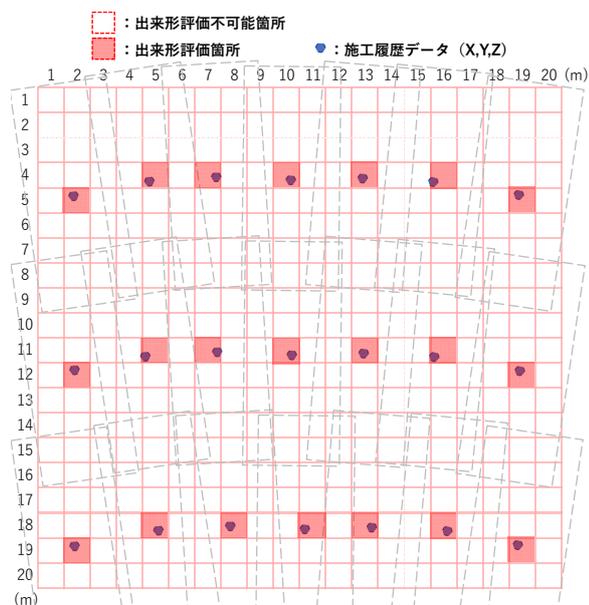


図-3.32 1m 平面格子サイズでの出来形評価イメージ図

今回の実地試験では、この課題の対応策として 3.2 (2) に前記した手法により出来形評価を行った。ここでは、仕

上げ掘りを行ったグラブバケット内の海底面（掘削面）の高さは一律であると仮定し、グラブバケット中心位置1点の施工履歴データを用いて、出来形評価を行うための手法を実地試験の手法を参考にし、平面格子サイズ設定および出来形評価方法について考える。

#### a) 底面部

1つ目に考えられる方法として、従来の出来形管理において、シングルビーム音響測深機等による出来形計測の測定密度は、測線間隔 10m で行われていることから、図-3.33 に示すように、平面格子サイズを 10m×10m (=100 m<sup>2</sup>) とし、従来と同様の測定密度で管理する。

平面格子サイズ 10m×10m 内の施工履歴データ (Z 値) から、中央値1点を出来形評価用点群データとして抽出し、設計水深との差分を分布図として表示することにより出来形評価を行う。なお、中央値の採用にあたっては、出来形管理基準に上下限值 (±0.3m) が定められていることによる。

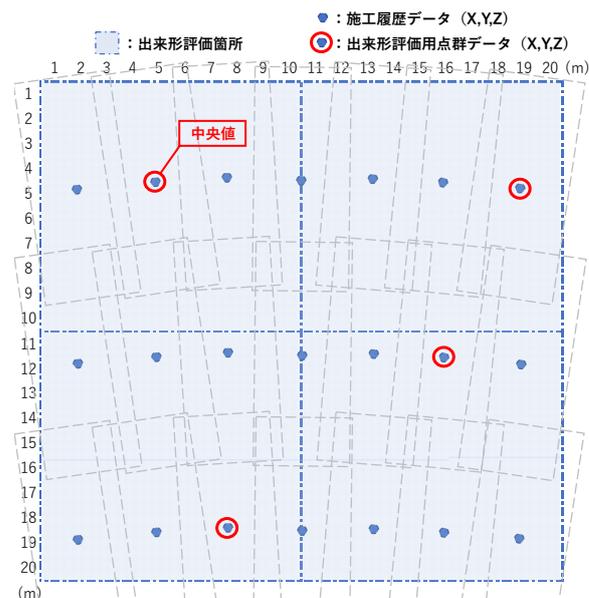
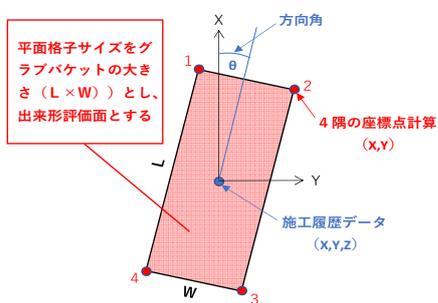


図-3.33 10m 平面格子サイズの出来形評価イメージ図

2つ目に考えられる方法として、平面格子サイズをグラブバケットの大きさ (L×W) とし、グラブバケットの大きさを出来形評価面として出来形評価を行う。今回の実地試験を例に挙げるとグラブバケットの大きさが L9.1m×W3.3m なので、平面格子サイズは 9.1m×3.3m (=30.03m<sup>2</sup>) となる。

施工履歴データはグラブバケットの中心位置のみとなるため、平面格子サイズを設定するには、4隅の座標点が必要となる。図-3.34 に示すように、浚渫施工管理システ

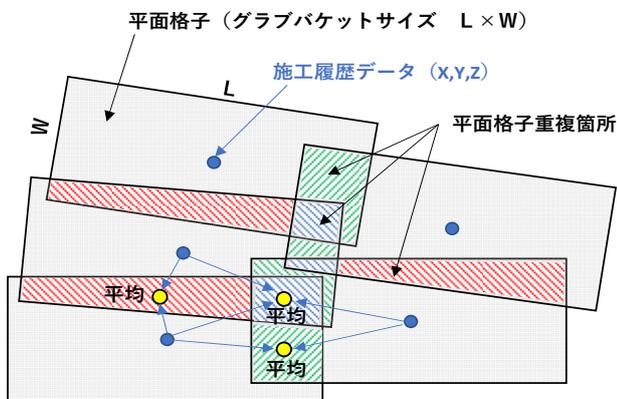
ムから取得する、グラブバケットの方向角、バケット中心位置座標およびバケット寸法値から、平面格子の4隅の座標値を算出し平面格子を設定する。



※  $L \times W$ の平面格子内全面の深度は、  
施工履歴データのZ値と考える

図-3.34 平面格子サイズ設定概要図

図-3.35 に示すように、平面格子サイズをグラブバケットの大きさとし、グラブバケット投入履歴毎の施工履歴データ (Z 値) と設計水深との差分を分布図として表示することにより出来形評価を行う。また、平面格子が重複する箇所は、施工履歴データ (Z 値) が複数存在するので、その平均値を抽出し設計水深との差分を分布図として表示する。



※  $L \times W$ の平面格子内全面の深度は、  
施工履歴データのZ値と考える

図-3.35 グラブバケットサイズの出来形評価イメージ図

b) 法面部

出来形評価面について、従来は点による管理を行っているが、法面部の施工は、設計法勾配 (1:n) に合わせて段掘り施工されることから、図-3.36 に示すように、各段の掘削面を出来形評価面として行う。各々の段掘り断面における、設計法面上の座標点の設計水深と段掘り掘削面の施工履歴データ (Z 値) との差分を分布図として表示することにより出来形評価を行う。

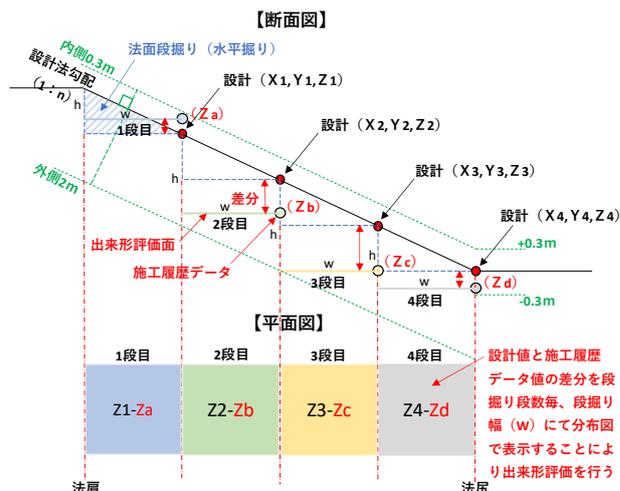


図-3.36 法面部の出来形評価面イメージ図

1つ目に考えられる方法として、図-3.37 に示すように、測線間隔 10m 毎で段掘り幅 (w) を平面格子サイズ (10m × 段掘り幅 w) として出来形評価を行う。例にすると、設計法勾配が 1:2 で段掘り幅を 2.0m で施工した場合、平面格子サイズは 10m × 2m (=20m<sup>2</sup>) となる。

平面格子サイズ内を掘削した施工履歴データ (Z 値) から、中央値 1 点を出来形評価用点群データとして抽出し、設計水深との差分を各段の掘削面毎に分布図として表示することにより出来形評価を行う。なお、中央値の採用にあたっては、出来形管理基準に上下限值 (内側 0.3m, 外側 2.0m (法面に直角)) が定められていることによる。

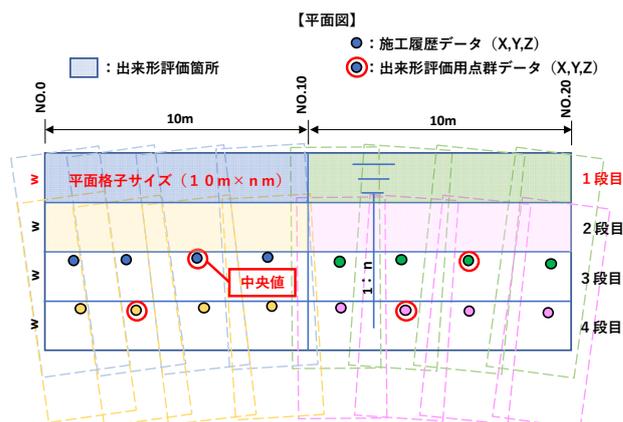


図-3.37 測線間隔 10m の出来形評価イメージ図

2つ目に考えられる方法として、図-3.38 に示すように、平面格子サイズをグラブバケットの大きさとし、各段の段掘り幅 (w) を出来形評価面として、グラブバケット投入履歴毎の施工履歴データ (Z 値) と設計水深との差分を分布図として表示することにより出来形評価を行う。また、平

面格子が重複する箇所は、施工履歴データ（Z 値）が複数存在するので、その平均値を抽出し設計水深との差分を分布図として表示する。

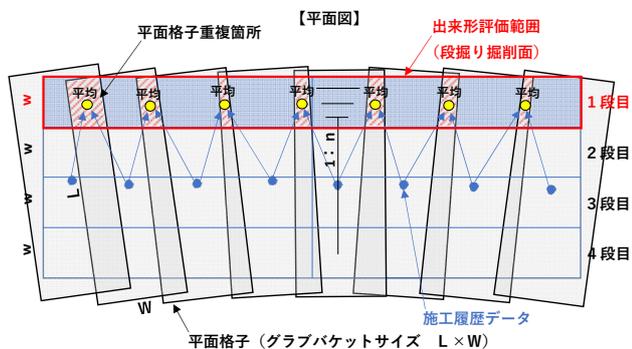


図-3.38 の出来形評価イメージ図

また、従来のシングルビーム音響測深機等で測定した出来形は点による管理を行っていたが、段掘り掘削面による面管理を行うにあたり、法面部の出来形許容範囲を見直す必要があると考えられる。図-3.39 に示すように、法面に直角方向で+0.3m、-2.0mの許容範囲内において、掘削面との交点を上下限値とし出来形許容範囲と考える。法勾配 1:2 の場合を例に挙げると、法面に鉛直方向で設計水深から+0.34m、-1.24m が出来形許容範囲となる。

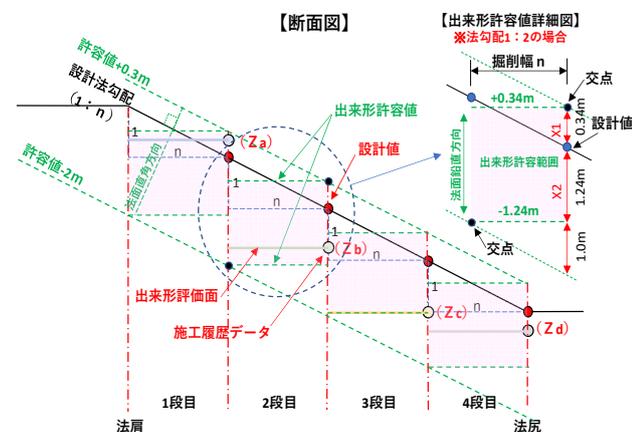


図-3.39 法面部の出来形許容値

ICT 海上地盤改良工（床掘工）においては、マルチビームを用いた出来形管理要領が整備されているが、施工履歴データを用いた出来形計測および出来形管理の方法を規定する基準類がないため、Grab浚渫船の特性を考慮した新たな基準類の整備が必要である。

また、施工履歴データの計測精度の実態を踏まえ、ICT を活用するための出来形管理基準を新たに定める必要性もあると思われる。

(2) 施工方法による施工履歴データ取得

今回の実地試験における施工方法は、底面部の掘削は法線直角方向で、法面部の掘削は法面直角方向の掘進方向で施工され、施工履歴データを取得した。ここでは、掘進方向を変えた施工方法で、施工履歴データを取得した場合と実地試験とを比較し、施工方法の観点から施工履歴データ取得について考える。

a) 底面部の施工方法

図-3.14 と同じ範囲を法線平行方向（図-3.40 参照）に変えて掘進した場合と、実地試験の法線直角方向で掘進した場合の施工履歴データ数を比較すると表-3.7 に示すとおりである。底面部においては施工方法の違いによる施工履歴データ数に大きな差はなく、施工方法を変えても床掘底面全体を掘残しがないよう、Grabバケットが一様に網羅することによって、同時に施工履歴データも床掘底面全体に取得することが可能で、出来形評価に影響を与えるものではないと思われる。

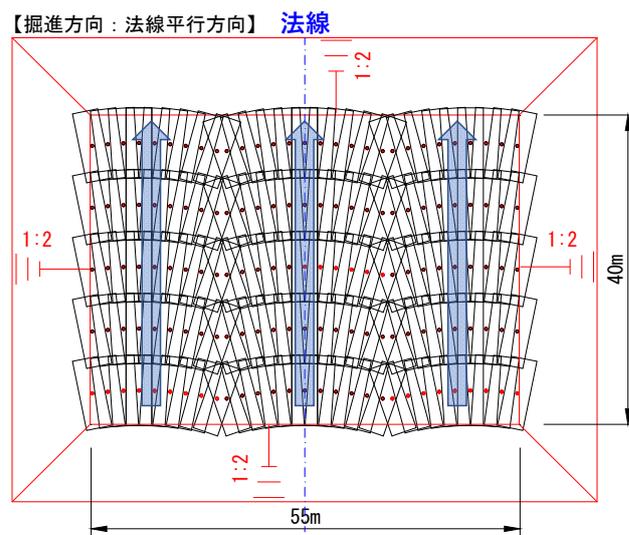


図-3.40 底面部掘進（法線平行方向）イメージ平面図

表-3.7 施工方法別データ数比較表

	法線直角方向①	法線平行方向②	差①-②
施工履歴データ数	154点	145点	-9点

b) 法面部の施工方法

図-3.16 と同じ範囲を法面平行方向（図-3.41、図-3.42 参照）に変えて掘進した場合と、実地試験の法面直角方向で掘進した場合の施工履歴データ数を比較すると表-3.8 に示すとおりである。法面部においては施工方法の違いに

よって、施工履歴データ数に大きな違いがあり、法面平行方向で掘進した場合の施工履歴データ数は、法面直角方向で掘進した場合の約40%程度となる。この要因は、法面直角方向で掘進する場合は、グラブバケット幅3.3mで掘削するのに対して、法面平行方向で掘進した場合は、グラブバケット長さ9.1mで掘削するので、グラブバケット投入回数が少ないためである。その分、効率的に掘削できることとなる。

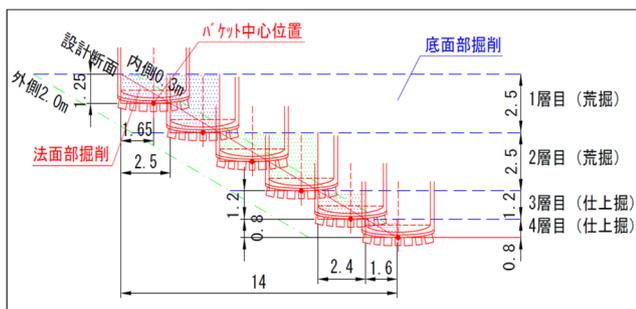


図-3.41 法面部掘進（法面平行方向）イメージ断面図

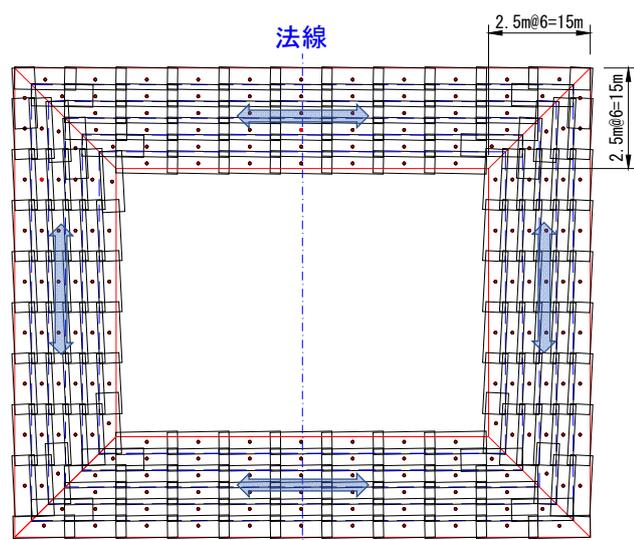


図-3.42 法面部掘進（法面平行方向）イメージ平面図

表-3.8 施工方法別データ数比較表

	法面直角方向①	法面平行方向②	差①-②
施工履歴データ数	496点	200点	-296点

また、法面仕上げ施工時は、以下の点に留意して施工することが、適正な施工履歴データを取得する上で必要と考えられる。

- ①1層毎、底面部の荒掘り施工と法面仕上げ掘りを同時に施工する場合、法面付近での底面部の荒掘り施工履歴データと法面部の仕上げ掘り施工履歴データが、浚渫施工管理システム上で混在することになり、施工履歴データの誤判断に繋がる恐れがあるので、法面仕上げを行う際の施工履歴データの管理を日々確実にを行う必要がある。
- ②底面部の荒掘りを先行した後、法面仕上げ掘りを行う場合は、図-3.43に示すように法面仕上げ掘り断面が小さいと、グラブバケットの転倒・回転・傾き等が生じ、グラブバケット中心位置がずれ、正確な施工履歴データが取得できない可能性がある。特に法面直角方向で掘削する場合、グラブバケットの長さが長いのでグラブバケット中心位置がずれる可能性が大きい。そのため、グラブバケットの転倒・回転・傾き等の現象を抑制し、適正な施工履歴データを取得するために、図-3.44に示すような、グラブバケットの床掘土砂の掴み代幅を確保し、底面部の荒掘りを行うといった工夫が必要である。

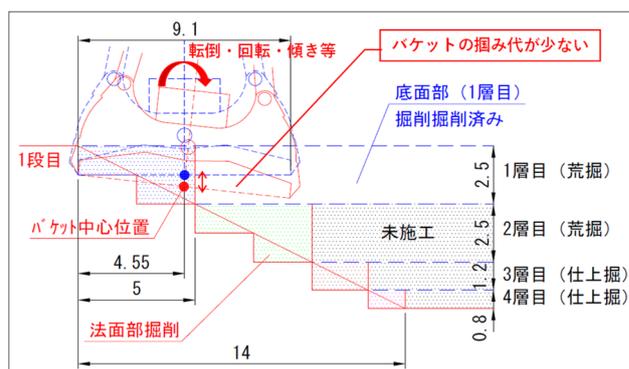


図-3.43 法面部掘進（法面直角方向）イメージ断面図①

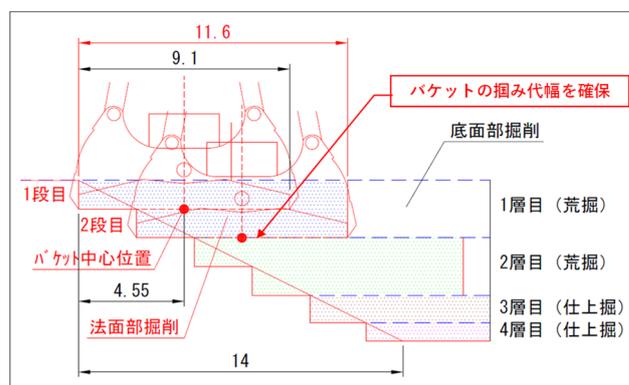


図-3.44 法面部掘進（法面直角方向）イメージ断面図②

施工区域や施工時の制約条件（隣接工区との兼ね合い等）等の現場条件により、施工方法も各現場によって異なる。

今後の実地試験では、施工方法別に施工履歴データを収

集・分析することを検討し、施工性、施工履歴データの整理、および点群データ作成の容易性や適正な施工履歴データの取得方法について検証することも必要と考える。

このことは、出来形管理における省力化や生産性向上に繋がるものと考えられる。

### (3) 施工管理システムの精度確認方法

ICT 浚渫工（河川）においては、2.3 (5) に前記したとおり、マシンガイダンス機能を用いた管理システムにより取得した施工履歴データが、適正に管理されていることを確認するための精度管理について規定されている。具体的には、精度確認項目は、着工前のテスト作業における精度確認と施工期間中の日々の精度管理の2項目が規定されている。

施工履歴データの取得方法が、バックホウ浚渫船ではマシンガイダンス機能によるバックホウのバケツ刃先軌跡から取得する方法であるのに対して、グラブ浚渫船での施工履歴データの取得方法は以下によるもので、かなり異なる（図-3.45 参照）。

- ① 水平方向位置 (X, Y) は、グラブ浚渫船の GNSS 位置情報とクレーン情報（クレーンの旋回角、ジブ長さ、ジブ角）により算出する。
- ② 深度 (Z) は、グラブバケットの支持ワイヤーロープの繰り出し長さにより算出する。

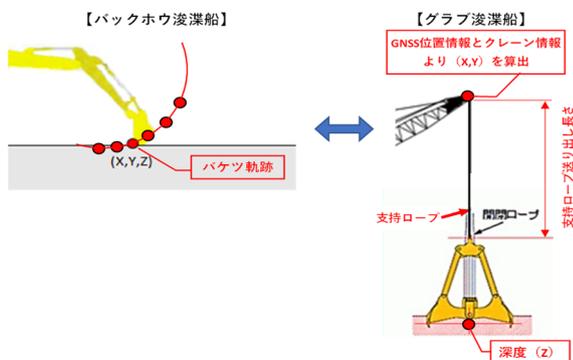


図-3.45 施工履歴データ取得方法相違図

よって、グラブ浚渫船における、施工管理システムの精度確認方法は、グラブ浚渫船および浚渫施工管理システムの特性を考慮した方法で行うことが望ましい。

#### a) 着工前のグラブ浚渫船の GNSS 計測値の確認

グラブバケットの水平方向位置 (X, Y) は、グラブ浚渫船の GNSS 位置情報を基に算出されることから、グラブ浚渫船の GNSS 計測値を確認することにより精度管理が行える。なお、水平方向位置 (X, Y) の算出に必要な GNSS

受信機位置から各部位までの離隔距離は、グラブ浚渫船の建造図面より船体形状寸法をシステム導入時に予め入力されている。

グラブ浚渫船の GNSS 受信機位置の計測方法は、TS による計測方法に加えて、陸上にある工事基準点から距離があり、TS による計測が難しい場合には、GNSS 受信機を備えた計測機器 (VRS 方式) による計測方法も必要と考えられる。また、GNSS 計測精度の基準は、「マルチビームを用いた深淺測量マニュアル（浚渫工編）（令和3年4月改定版）」<sup>11)</sup>の GNSS 精度確認に規定されている内容と同様に、表-3.9 に示す「水路測量関係規則集（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」<sup>12)</sup>に準拠することが望ましいと思われる。

表-3.9 水平位置の測定の誤差の限度<sup>12)</sup>

水平位置の測定の誤差の限度	次の表の左欄に掲げる使用機器に応じ、それぞれ右欄に掲げるとおりとする。	
	使用機器	誤差の限度 (m)
	単素子音響測深機	0.5+水深の5%
	その他の機器	5+水深の5%

出典：水路測量関係規則集（令和2年4月）

今回の実地試験においても、TS 等の測量機器によりグラブ浚渫船の GNSS 受信機位置を計測し、その時の浚渫施工管理システムに表示される GNSS 計測値を比較し精度確認を行った。その計測結果を表-3.10 に示す。

表-3.9 から誤差の限度は  $0.5m + 27.5m \text{ (水深)} \times 0.05 = 1.88m$  であり、計測結果  $0.686m$  は限度内に納まっていることが確認できる（特級の水域における誤差の限度は  $2m$ ）。

表-3.10 グラブ浚渫船の GNSS 計測結果

	X座標	Y座標
①作業船GNSS座標	-63742.1630	-12138.0270
②TSによる計測値	-63742.5413	-12137.4552
差分 ②-①	-0.378	0.572
d s	0.686	

b) 日々の作業開始前のグラブバケット深度ゼロ設定  
 掘削深度は、グラブバケットの支持ワイヤーロープの繰り出し長さで管理されるため、作業開始前にグラブバケット深度のゼロ設定を行い、深度精度の管理を行うことが必要である。グラブバケット深度のゼロ設定方法は、図-3.46 に示す。グラブバケット刃先の開閉時の軌跡を考慮し、グラブバケットを開きグラブバケット刃先の根本を海面位置に合わせた状態で行う。グラブバケット刃先の先端を海面に合わせゼロ設定をすると、掘削深度が浅くなる可能性があるためである。

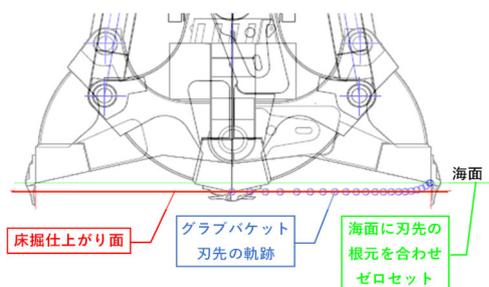


図-3.46 グラブバケット深度のゼロ設定方法

これらの精度確認方法は、従来、グラブ浚渫船で施工を行う際に行われる主な方法であり、これまで問題なく施工がなされているので、現状では他の方法による施工管理システムの精度確認は考えにくい。今後、施工履歴データを用いた出来形管理を適用する際の基準類策定において、これらの精度確認方法を考慮する必要がある。

#### 4. おわりに

本資料では、ICT 海上地盤改良工（床掘工）において、実際の工事での施工履歴データの取得・処理方法、シングルビーム出来形測定値との比較検証、施工履歴データの分析により、施工履歴データを用いた出来形管理への適用に向けた検討を行った。

施工履歴データは、底面部で 40.5%、法面部で 4.7%が出来形管理基準値を外れる結果となった。取得する施工履歴データは、グラブバケット設定深度によって左右され、施工履歴データとグラブバケット設定深度には、概ね±0.0m～-0.2mの誤差が生じる。また、施工履歴データとシングルビーム出来形測定値との測定差には、上記以外の+αの測定差も生じることが確認できた。

実地試験での手法・結果を基に「平面格子サイズと出来形評価方法」、「施工方法による施工履歴データの取得」、および「施工管理システムの精度確認方法」について、施工履歴データを用いた出来形管理への導入に向け、基準類等を整備するにあたって考慮すべき事項の整理を行った。

今後、施工履歴データを用いた出来形管理への導入に向け、更なる実地試験での施工履歴データの照査方法、処理・出来形評価方法について検討を行い、様々な条件下での実地試験から検証に必要な計測データを収集し、施工履歴データの精度確認を行う必要がある。また、施工履歴データを出来形管理に活用するために必要なマニュアル・基準類の検討や施工履歴データの精度との整合性に基いた出来形管理基準の検討が必要である。

(2022年2月16日受付)

#### 謝辞

本研究にあたって、実地試験データの提供をいただいた関東地方整備局、京浜港湾事務所ならびに東洋・あおみ・株木特定建設工事共同企業体、および貴重なご意見をいただいた浚渫工事施工会社、システムソフトウェア会社の方々に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 総務省統計局：労働力調査（基本集計）2021年（令和3年）4月分結果，2021年，<<http://www.stat.go.jp/data/roudou/sokuhou/tsuki/>>，（2022.2.14 アクセス）。
- 2) 国土交通省：不動産・建設経済局 建設産業における担い手の確保・育成について資料1，2020.9.14，<<https://www.mhlw.go.jp/content/12602000/000670248.pdf>>，（2022.2.14 アクセス）。
- 3) 国土交通省：ICT 導入協議会 第13回資料-資料2，2021年，<<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/content/001416606.pdf>>，（2022.2.14 アクセス）。
- 4) 国土交通省：港湾における i-Construction 推進委員会 第1回資料，2020年，<<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/Shiryo.pdf>>，（2022.2.14 アクセス）。
- 5) 国土交通省：港湾工事共通仕様書（令和3年3月），2021年，pp1-146，pp3-33～3-34。
- 6) 国土交通省：港湾における i-Construction 推進委員会 第2回資料，2021年，<<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001388776.pdf>>，（2022.2.14 アクセス）。
- 7) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形要領（案）（第5編河川浚渫工編）（令和3年3月），2021年。
- 8) 吉野拓之，櫻井義夫，坂田憲治：港湾分野でのマルチビーム測定の効率化と施工履歴データを用いた海上地盤改良工の出来形管理の導入に関する検討，国土技術政策総合研究所資料，第1157号，2021。
- 9) 堀一久，下阪郁：稚内港岩盤浚渫工事における ICT 施工，第64回（2020年度）北海道開発技術研究発表会論文，2020年，<[http://thesis.ceri.go.jp/db/documents/public\\_detail/69123/](http://thesis.ceri.go.jp/db/documents/public_detail/69123/)>，（2022.2.14 アクセス）。
- 10) 国土交通省：3次元データを用いた出来形管理要領（海上地盤改良工：床掘工・置換工編）（令和3年4月），2021年。
- 11) 国土交通省：マルチビームを用いた深淺測量マニュアル（浚渫工編）（令和3年4月改定版），2021年。
- 12) 一般社団法人海洋調査協会：海上保安庁海洋情報部監修，水路測量関係規則集，令和2年4月第9版，2021年，pp17～25。

付録A 実地試験での出来形関係資料

1. 床掘出来形平面図（深淺図） シングルビーム出来形測定値，施工履歴データ値

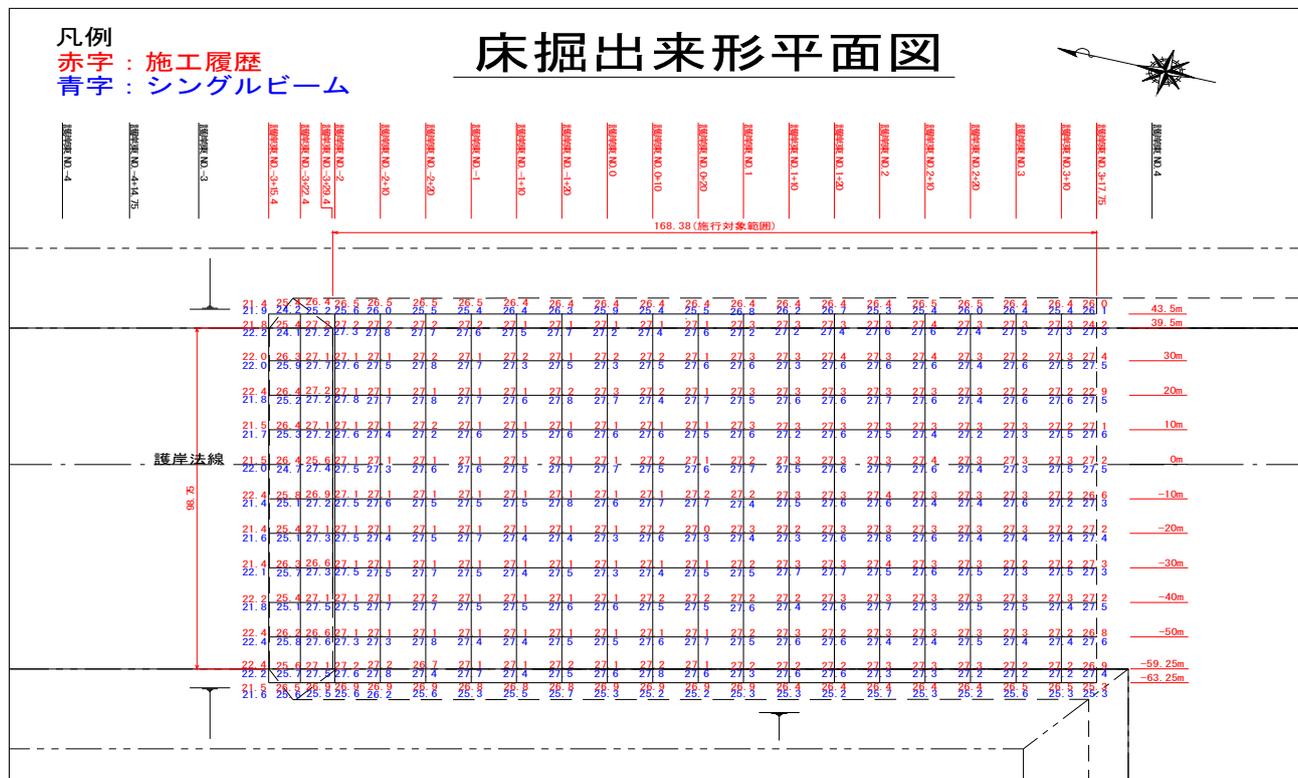


図-A.1 床掘出来形平面図（深淺図）

2. 床掘出来形管理表

表-A.1 床掘出来形管理表（シングルビーム出来形測定値）

距離	測線NO.	法中間		法中間		法尻		No.-3		No.-2		No.-2		No.-1		No.-1		No.0		No.0		No.1		No.1		No.2		No.2		No.3		No.3	
		+15.4	+22.4	+29.4	+10	+20	+10	+20	+10	+20	+10	+20	+10	+20	+10	+20	+10	+20	+10	+20	+10	+20	+10	+20	+10	+20	+10	+20	+10	+20			
法中間	43.5m	設計値	-20.5	-24.0	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	-25.5	
		測定値	-21.9	-24.2	-25.2	-25.6	-26.0	-25.5	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	-25.4	
		差	-1.4	-0.2	+0.3	-0.1	+0.5	+0.0	+0.1	-0.9	-0.8	-0.4	+0.1	+0.0	-1.3	-0.7	-1.2	+0.2	+0.1	-0.5	-0.9	+0.1	-0.6										
法尻	39.5m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	
		測定値	-22.2	-24.1	-27.2	-27.3	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	-27.4	
		差	-1.7	-0.1	+0.3	+0.2	-0.3	-0.2	-0.1	+0.0	-0.2	+0.3	+0.1	-0.1	+0.3	+0.1	-0.1	+0.3	+0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	
東側	30m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		測定値	-22.0	-25.9	-27.1	-27.6	-27.5	-27.8	-27.7	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	
		差	-1.5	-1.9	-0.2	-0.1	+0.0	-0.3	-0.2	+0.2	+0.0	+0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	
護岸法線	10m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		測定値	-21.7	-25.3	-27.2	-27.6	-27.4	-27.2	-27.6	-27.5	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	
		差	-1.2	-1.3	+0.3	-0.1	+0.1	+0.3	-0.1	+0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	
西側	0m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		測定値	-22.0	-24.7	-27.1	-27.5	-27.3	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	
		差	-1.5	-0.7	+0.1	+0.0	+0.2	-0.1	+0.1	+0.0	-0.2	-0.2	+0.0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	
東側	-10m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		測定値	-21.4	-25.1	-27.4	-27.5	-27.6	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		差	-0.9	-1.1	+0.3	+0.0	-0.1	+0.0	+0.0	-0.3	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	
護岸法線	-20m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		測定値	-21.6	-25.1	-27.3	-27.5	-27.4	-27.5	-27.7	-27.4	-27.4	-27.3	-27.6	-27.3	-27.4	-27.6	-27.3	-27.4	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6		
		差	-1.1	-1.1	+0.2	+0.0	+0.1	-0.2	+0.1	+0.1	+0.2	-0.1	+0.2	-0.1	+0.2	-0.1	+0.2	-0.1	+0.2	-0.1	+0.2	-0.1	+0.2	-0.1	+0.2	-0.1	+0.2	-0.1	+0.2	-0.1	+0.2		
東側	-30m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		測定値	-22.1	-25.7	-27.2	-27.5	-27.5	-27.5	-27.4	-27.5	-27.3	-27.4	-27.5	-27.3	-27.4	-27.5	-27.3	-27.4	-27.5	-27.3	-27.4	-27.5	-27.3	-27.4	-27.5	-27.3	-27.4	-27.5	-27.3	-27.4	-27.5		
		差	-1.6	-1.7	+0.2	+0.0	+0.0	-0.2	+0.0	+0.1	+0.0	+0.2	+0.1	+0.0	+0.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2		
護岸法線	-40m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		測定値	-21.8	-25.1	-27.5	-27.5	-27.7	-27.7	-27.5	-27.5	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6	-27.6		
		差	-1.3	-1.1	+0.0	+0.0	-0.2	-0.2	+0.0	+0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1		
西側	-50m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		測定値	-22.4	-25.8	-27.1	-27.3	-27.3	-27.8	-27.4	-27.4	-27.4	-27.5	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3	-27.6	-27.3		
		差	-1.9	-1.8	-0.1	+0.2	+0.2	-0.3	+0.1	+0.1	+0.0	-0.1	-0.2	+0.0	-0.1	-0.2	+0.0	-0.1	-0.2	+0.0	-0.1	-0.2	+0.0	-0.1	-0.2	+0.0	-0.1	-0.2	+0.0	-0.1			
東側	-59.25m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		測定値	-22.2	-25.7	-27.2	-27.5	-27.5	-27.7	-27.4	-27.4	-27.5	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5	-27.3	-27.5		
		差	-1.7	-1.7	+0.0	-0.1	-0.3	+0.1	-0.2	+0.1	-0.0	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2		
護岸法線	-63.25m	設計値	-20.5	-24.0	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5		
		測定値	-21.6	-25.6	-25.5	-25.6	-26.2	-25.6	-25.3	-25.5	-25.7	-25.3	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2		
		差	-1.1	-1.6	+0.0	-0.1	-0.7	-0.1	+0.2	+0.0	-0.2	+0.2	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3		



---

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1199

March 2022

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

---

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

国土技術政策総合研究所資料

No.1199

IC海上地盤改良工（床掘工）の出来形管理への施工履歴データ適用に関する検討

March 2022