

ICT浚渫工（港湾）における適正な3次元データ取得に関する検討

鈴木達典*・井山 繁**・坂田憲治***・村田 恵****・吉田英治*****

要 旨

港湾分野での ICT 浚渫工（港湾）は、国土交通省が推進する i-Construction 施策のひとつである ICT（Information Communication Technology；情報通信技術）を全面的に活用する浚渫工事であり、平成 28 年度に基準類が整備され、平成 29 年度に試行工事が実施され、平成 30 年度も多くの直轄工事で実施中である。一方で、平成 29 年度試行工事のアンケート調査の結果等において、ナローマルチビーム測深はシングルビーム測深と比べ作業時間や費用の増加等の問題が多く生じていた。そこで、ナローマルチビーム測深での取得点密度等の基準の改定が行われたが、平成 30 年度工事のアンケート調査でも依然として同様の問題が引き続き発生している。

本研究は、測深時に点群が十分に取得できない状況を模擬した点群数による取得点密度や土量計算結果を比較し、ICT 浚渫工（港湾）のナローマルチビーム測深での取得点密度の基準の適正化の検討を行うとともに、作業の効率化や費用負担の削減等による生産性向上に向けた基準値の提案を行うものである。

キーワード：i-Construction, ICT浚渫工, ナローマルチビーム, 取得点密度, 深淺測量

*港湾研究部	港湾施工システム・保全研究室	交流研究員（東洋建設株式会社）
**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
****港湾研究部	港湾施工システム・保全研究室	係員
*****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）

〒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 e-mail：ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

Study on Proper Three-dimensional Data Acquisition in “ICT Dredging” (Harbor Construction)

Tatsunori SUZUKI*
Shigeru IYAMA**
Kenji SAKATA***
Megumi MURATA****
Eiji YOSHIDA*****

Synopsis

“ICT dredging” (harbor construction) in the port and harbor field is dredging construction fully using ICT, which is one of the “i-Construction” measures promoted by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). Standards were developed in fiscal 2016, trial construction was carried out in fiscal 2017, and in fiscal 2018, this method was under implementation in many construction projects under the direct control of the country. On the other hand, as one result of a questionnaire survey of the trial construction in fiscal 2017, the narrow multibeam echo sounder bathymetric survey increased the working time and cost compared to the singlebeam echo sounder bathymetric survey, and many other problems also occurred. Therefore, standards such as the acquisition point density in the narrow multibeam echo sounder bathymetric survey were revised, but similar problems still remained in the questionnaire survey conducted in connection with construction in fiscal 2018.

In this research, we compare the acquisition point density of the number of a point group simulating a situation where the point group cannot be acquired sufficiently at the time of bathymetric survey and the result of a calculation of the soil amount in order, to optimize the standard of the acquisition point density in the narrow multibeam echo sounder bathymetric survey of “ICT dredging”. We also propose standard values for improving productivity by improving work efficiency and reducing cost.

Key Words : “i-Construction” , “ICT dredging” , multibeam echo sounder , acquisition point density , bathymetric survey

-
- * Exchanging Researcher, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM. (TOYO 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
 - **** Committee, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM
 - ***** Exchanging Researcher, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM. (WAKACHIKU CONSTRUCTION CO., Ltd)

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 研究の背景と目的	1
1.2 本資料の構成	1
2. ICT浚渫工（港湾）と他分野のICT導入の動向	2
2.1 ICT導入の実施状況	2
2.2 他分野のICT導入の動向	2
2.3 ICT浚渫工（港湾）の動向	5
3. ICT浚渫工（港湾）における取得点密度に関する適正な基準に向けた検討	8
3.1 マルチビームの導入効果等に関するアンケート調査結果	8
3.2 ICT浚渫工（港湾）と水路測量における測深作業等に関する基準	10
3.3 検討方法	10
3.4 密度確認による検討（検討方法Ⅰ）	11
3.5 土量確認による検討（検討方法Ⅱ）	12
4. ICT浚渫工（港湾）における取得点密度に関する基準の改定案	15
4.1 改定案の提案	15
4.2 改定案による効果	15
5. おわりに	16
謝辞	16
参考文献	16
付録A	18
付録B	20

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

我が国は、平成22年をピークに人口減が始まり、高齢化が進むことで、生産年齢人口も減少している。しかし、労働力は減少し続けても、生産性向上により、経済成長の持続は可能と考えられる。それは、かつて昭和31年～昭和45年までの間、年平均で実質GDP成長率は9.6%であったが、労働人口率の伸び率は年平均1.4%程度であり、高度成長の大部分は生産性向上がもたらしたものであると言えるからである¹⁾。生産性向上がこれからの成長のキーワードと言える。そこで、国土交通省では、平成28年を生産性革命「元年」と位置づけ、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いて抜本的に生産性を向上させるi-Constructionを推進している。

i-Constructionは、「建設現場を最先端の工場へ」、「建設現場へ最先端のサプライチェーンマネジメントを導入」および「建設現場の2つの「キセイ」の打破と継続的な「カイゼン」」の3つの視点からトップランナー施策として、「ICTの全面的な活用（ICT土工）」、「全体最適の導入（コンクリート工の規格の標準化等）」、「施工時期の平準化」の3本柱を推進している。平成29年は、生産性革命「前進の年」として、トップランナー施策に加え、ICT工種の拡大、CIMの導入、普及・促進の充実、産学官民の連携強化の取り組みを進めていくとした。平成30年は、生産性革命「深化の年」として、これまでの取り組みに加え、建設生産プロセス全体を3次元データで繋ぎ、新技術、新工法、新材料の導入、利活用を加速するとともに、国際標準化の動きと連携を図っていくとしている。平成31年は、生産性革命をさらに推し進める「貫徹の年」として、生産性向上の成果を結実させたいとしている。

i-Constructionの施策の一つである「ICTの全面的な活用」は、建設生産プロセス全体において、3次元データを一貫して使用するICTを全面的に導入する取り組みのことで、先駆けてICT土工が開始された。ICT土工の開始にあたって、3次元データを一貫して使用できるように平成28年3月に15の新基準と積算基準が策定された。ICT活用工事の実践を踏まえて、平成29年3月および平成30年3月に基準類の新設や改定が行われている(2章2節で詳述)。

港湾分野においては、平成29年度からICT浚渫工（港湾）（以下、「ICT浚渫工」という。）の試行工事の実施とともに新基準が導入された(2章2節で詳述)。そして、平成29年度の試行工事のアンケート調査の結果等を

踏まえて、平成30年3月に基準類が改定され、ナローマルチビーム（以下、「NMB」という。）による取得点密度や精度等の基準が緩和された。しかし、平成30年度工事のアンケート調査の結果でも平成29年度と同様に作業時間や費用の増加等の問題点が多く発生している。ICT浚渫工の導入により、MNB測深はシングルビーム（以下、「SB」という。）測深に比べ測深すべき海域の未測域が少なく、土量も従前の平均断面法に比べ正確に算出可能となった一方で、ICT浚渫工導入当初の測深基準の要求水準が高すぎた測深作業やデータ処理等にかかる時間、費用等が増加している。

そこで、本研究は、測深時に点群が十分に取得できない状況を模擬した点群数による取得点密度や土量計算結果を比較し、ICT浚渫工のNMB測深での取得点密度の基準の適正化の検討を行うとともに、作業の効率化や費用負担の削減等による生産性向上に向けた基準値の提案を行うものである。

1.2 本資料の構成

本資料の構成を図-1.1に示す。第1章では、研究の背景と目的を記載する。第2章では、ICT浚渫工を含む、ICT導入の概要や基準類の内容、動向を記載する。第3章では、平成29年度と平成30年度に実施された工事のアンケート調査の結果やICT浚渫工と水路測量の測深作業に関する基準の違いを記載し、取得点密度の適正な基準に向けて検討した結果を記載する。第4章では、第3章での検討結果から基準の改定案を提案する。最後に基準の提案により期待される効果を記載する。

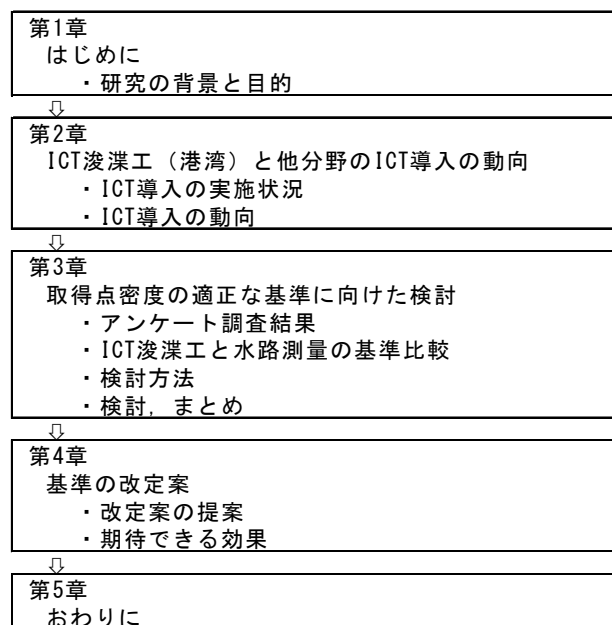


図-1.1 本資料の構成

2. ICT浚渫工（港湾）と他分野のICT導入の動向

2.1 ICT導入の実施状況

平成28年度に先駆けてICT土工が導入された。平成29年度には、ICT舗装工、橋梁分野のi-Bridgeの試行工事が実施され、港湾分野においてもICT浚渫工の試行工事が実施された。平成30年度には、ICT舗装工がコンクリート舗装へ拡大し、河川分野のICT浚渫工（河川）が実施され、試行工事でもICT法面処理工や修繕分野のICT舗装工が実施されている。他にもICT地盤改良工やICT土工周辺構造物工、建築の管轄分野等の導入が試行されている。港湾分野では本格的にICT浚渫工が実施され、モデル工事としてICT基礎工とICTブロック据付工が実施されている。

ここで、モデル工事とは関連要領類（案）を整備するために実施する工事である。試行工事とは関連要領類の検証・改定を行うために実施する工事である。モデル工事や試行工事が実施され、本格運用となる²⁾。

2.2 他分野のICT導入の動向

(1)ICT土工

土工は平成10年より試行している情報化施工の結果から生産性の向上が見込まれていた。また、建機周りの計測作業などを減らすことで安全性が向上するとともに、ICTによって精度良く施工できるため経験年数の浅い若いオペレータが早期に建設現場で活躍できると想定されていた。情報化施工は施工段階のみの情報化であり、建設生産プロセス全体において3次元データを一貫して使

用するICT土工の導入は、土工における抜本的な生産性の向上を目的としている。

ICT土工は、建設生産プロセス全体の段階においてICTを全面的に活用する土工工事であり、無人航空機（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）等による写真測量等の3次元測量を実施し、3次元設計や施工計画に3次元測量データを活用することである（図-2.1）。そして、3次元設計データからICT建機による施工、建設現場のIoT（Internet of Things；モノのインターネット）を実施し、検査等に3次元測量を活用することである。ICT土工は直轄工事においては平成28年度の584件から平成29年度の815件に増加し、地方自治体においても平成28年度の約80件から平成29年度の約300件と大幅に増加している³⁾（表-2.1）。

ICT土工では、3次元データを一貫して使用できるように平成28年3月に15の新基準と積算基準が策定された（表-2.2）。そして、平成29年3月にICT活用工事での実践を踏まえた課題への対応や基準の緩和によるさらなる効率化を図るため、15の基準類のうち6の基準類と積算要領が改定された（表-2.3）。また、小規模工事への適用のための対象技術の拡大や新技術への適用のため、新たに基準類が新設・改定された（表-2.3）。さらに、平成30年3月にも基準類の新設・改定が行われている（表-2.4）。

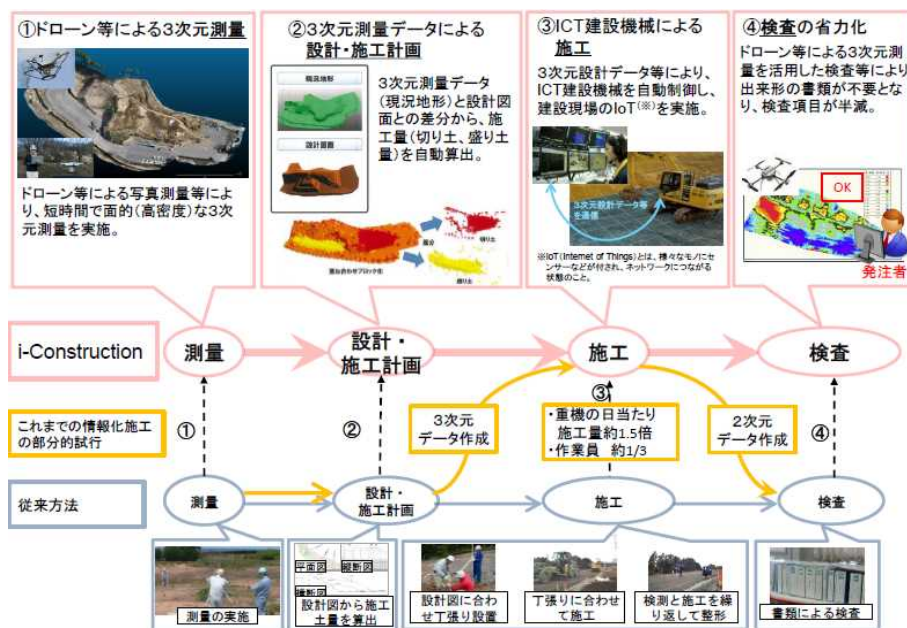


図-2.1 ICT土工の概念⁴⁾

表-2.1 平成28年度および平成29年度ICT導入件数³⁾

工種	平成28年度	平成29年度
土工	584件	815件
土工(自治体)※	約80件	約300件
舗装工	-	79件
i-Bridge	-	60件
浚渫工(港湾)	-	24件

※土工のみ自治体の集計有り。

表-2.2 ICT土工の基準類の新設・改定一覧
(平成28年)⁵⁾

名称		新規	改定
調査・測量、設計	UAVを用いた公共測量マニュアル(案)	○	
	電子納品要領(工事及び設計)		○
	3次元設計データ交換標準(同運用ガイドラインを含む)	○	
施工	ICTの全面的な活用(ICT土工)の推進に関する実施方針	○	
	土木工事施工管理基準(案)(出来形管理基準及び規格値)		○
	土木工事数量算出要領(案)(施工履歴データによる土工の出来形算出要領(案)を含む)		○
	土木工事共通仕様書 施工管理関係書類(帳票・出来形可否判定総括表)	○	
	空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)	○	
	レーザースキャナを用いた出来形管理要領(土工編)(案)	○	
	地方整備局土木工事検査技術基準(案)	○	
検査	既済部分検査技術基準(案)及び同解説		○
	部分払における出来高取扱方法(案)		○
	空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)		○
	レーザースキャナを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)	○	
	工事成績評定要領の運用について	○	
積算基準	ICT活用工事積算要領		○

表-2.3 ICT土工の基準類の新設・改定一覧
(平成29年)⁶⁾

名称		新規	改定	
H 28 導入済	調査・測量、設計		○	
	3次元設計データ交換標準(同運用ガイドラインを含む)		○	
	施工	ICTの全面的な活用の実施方針	○	
		土木工事施工管理基準(案)(出来形管理基準及び規格値)	○	
検査	空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)		○	
	空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)		○	
積算基準	ICT活用工事積算要領		○	
H 29 新導入	調査・測量、設計		○	
	施工	地上レーザースキャナを用いた公共測量マニュアル(案)	○	
		ステレオ写真測量(地上移動体)による土工の出来高算出要領(土工編)	○	
		TSを用いた出来形管理要領(土工編)		○
		TS(ノンプリズム方式)を用いた出来形管理要領(土工編)	○	
		RTK-GNSSを用いた出来形管理要領(土工編)	○	
		無人航空機搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理要領(土工編)	○	
		TS・GNSSを用いた盛土の締固め管理要領		○
	写真管理基準(案)		○	
	検査	TSを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)		○
		TS(ノンプリズム方式)を用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)	○	
RTK-GNSSを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)		○		
無人航空機搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)		○		
TS・GNSSを用いた盛土の締固め監督・検査要領		○		

表-2.4 ICT土工の基準類の新設・改定一覧
(平成30年)⁷⁾

名称		新規	改定
施工	ICTの全面的な活用の実施方針		○
	土木工事施工管理基準(案)出来形管理基準及び規格値		○
	写真管理基準(案)		○
	無人航空機搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理要領(土工編)(案)		○
	TS等光波方式を用いた出来形管理要領(土工編)(案)		○
	地上移動体搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理要領(土工編)(案)	○	
	空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)		○
	地上レーザースキャナを用いた出来形管理要領(土工編)(案)		○
	RTK-GNSSを用いた出来形管理要領(土工編)(案)		○
	TS(ノンプリズム方式)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)		○
検査	無人航空機搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)		○
	TS等光波方式を用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)		○
	地上移動体搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)	○	
	空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)		○
	地上レーザースキャナを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)		○
	RTK-GNSSを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)		○
積算基準	ICT活用工事(土工)積算要領		○

(2)ICT舗装工

平成29年度に導入されたICT舗装工は、さらなる生産性向上を目指して、3次元設計データを活用し自動制御するMC(マシンコントロール)グレーダの活用など、アスファルト舗装工にICTを全面的に導入する取り組みである(図-2.2)。平成30年度はアスファルト舗装からコンクリート舗装へ拡大し、新設舗装工事から修繕分野へ拡大するための試行工事が実施されている。ICT舗装工は平成29年度に79件実施されている²⁾。

ICT舗装工では、平成29年3月に10の新基準と積算要領が策定された(表-2.5)。また、平成30年度にコンクリート舗装で未整備の面管理に対応した出来形管理基準等の基準類が新設・改定された(表-2.6)。そして、平成31年度中に修繕分野の基準類の整備を目指している。



図-2.2 ICT舗装工の概念⁸⁾

表-2.5 ICT舗装工の基準類の新設・改定一覧
(平成29年)⁸⁾

名称		新規	改定
施工	ICTの全面的な活用の実施方針		○
	土木工事数量算出要領(案)		○
	土木工事施工管理基準(案) (出来形管理基準及び規格値)		○
	地上レーザースキャナを用いた出来形管理要領 (舗装工事編)(案)	○	
	TSを用いた出来形管理要領(舗装工事編)		○
検査	写真管理基準(案)		○
	地方整備局土木工事検査技術基準(案)		○
	既済部分検査技術基準(案)及び同解説		○
	地上型レーザースキャナを用いた出来形管理 の監督・検査要領(舗装工事編)	○	
積算基準	ICT活用工事(舗装工)積算要領	○	

表-2.6 ICT舗装工の基準類の新設・改定一覧
(平成30年)⁷⁾

名称		新規	改定
施工	ICTの全面的な活用の実施方針		○
	土木工事施工管理基準(案)出来形管理基準及び規格値		○
	写真管理基準(案)		○
	TS等光波方式を用いた出来形管理要領(舗装工事編)(案)		○
	TS(ノンプリズム方式)を用いた出来形管理要領(舗装工事編)(案)	○	
	地上移動体搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理要領 (舗装工事編)(案)	○	
	地上レーザースキャナを用いた出来形管理要領(舗装工事編)(案)		○
検査	TS等光波方式を用いた出来形管理の監督・検査要領 (舗装工事編)(案)		○
	TS(ノンプリズム方式)を用いた出来形管理の監督・検査要領 (舗装工事編)(案)	○	
	地上移動体搭載型レーザースキャナを用いた出来形管理の 監督・検査要領(舗装工事編)(案)	○	
	地上レーザースキャナを用いた出来形管理の監督・検査要領 (舗装工事編)(案)		○

(3) i-Bridge

平成29年に試行工事が実施されたi-Bridgeは、橋梁事業の建設生産プロセス全体においてICTを活用し、生産性・安全性を向上させる取り組みであり、ECI (Early Contractor Involvement) 方式を活用した3次元設計・施工や、維持管理分野におけるICTの導入を実施している(図-2.3)。具体的には、設計の段階から3次元モデルを活用し、3次元モデルによる詳細確認や施工計画などの最適設計を行っている。また、補修・補強が目的どおりの効果を発揮しているかをセンサーでモニタリングすることにより、補修・補強の信頼性を向上させることなども行っている。i-Bridgeは平成29年度に業務・工事において60件実施されている²⁾(表-2.1)。

(4) ICT浚渫工(河川)

平成30年度に導入された河川分野のICT浚渫工(河川)は、バックホウ浚渫船による浚渫に測量から検査まで3次元データを活用する取り組みである(図-2.4)。

ICT浚渫工(河川)では、平成30年3月に9の新基準と積算基準が策定された(表-2.7)。



図2.3 i-Bridgeの概念⁹⁾

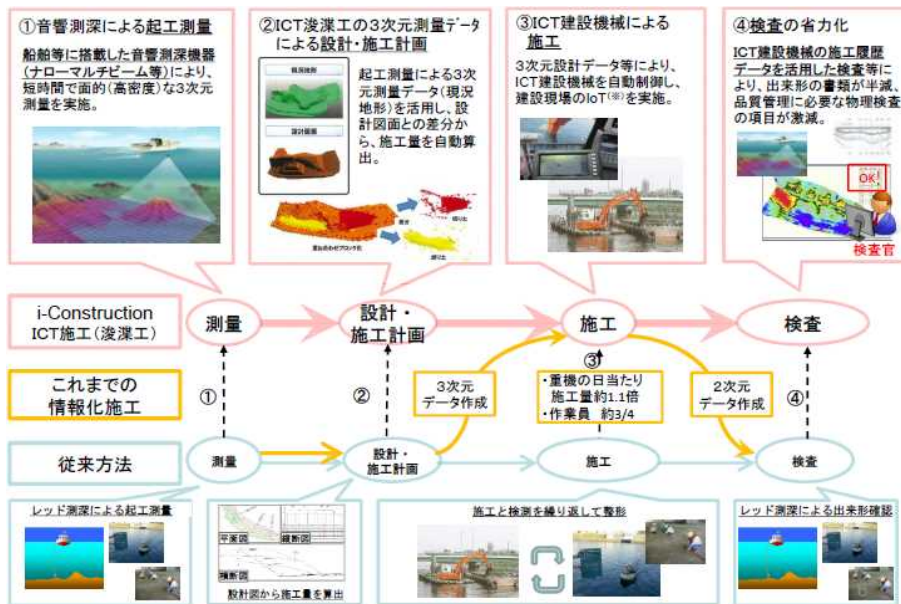


図-2.4 ICT浚渫工（河川）の概念¹⁰⁾

表-2.7 ICT浚渫工（河川）の基準類の新設・改定一覧
(平成30年)⁷⁾

名称		新規	改定
施工	ICTの全面的な活用の実施方針		○
	土木工事施工管理基準(案)(出来形管理基準及び規格値)		○
	音響測深機器を用いた出来形管理要領(河川浚渫工事編)(案)	○	
	施工データを用いた出来形管理要領(河川浚渫工事編)(案)	○	
写真管理基準(案)		○	
検査	音響測深機器を用いた出来形管理の監督・検査要領(河川浚渫工事編)(案)	○	
	施工データを用いた出来形管理の監督・検査要領(河川浚渫工事編)(案)	○	
	地方整備局土木工事検査技術基準(案)		○
	既済部分検査技術基準(案)及び同解説		○
積算基準	ICT活用工事(河川浚渫)積算要領	○	

(5) ICT土工とICT舗装工の活用効果

平成29年度のICT土工とICT舗装工のICT導入の効果について、起工測量から工事完成までの一連の延べ作業時間が約3割削減する効果がみられた¹¹⁾。

2.3 ICT浚渫工（港湾）の動向

(1) ICT浚渫工（港湾）の概要

ICT浚渫工は、港湾分野の浚渫工事にICTを全面的に活用する工事であり、①3次元起工測量、②3次元数量計算、③ICTを活用した施工（試行）、④3次元出来形測量、⑤3次元データの納品を行う取り組みである。具体的には、①3次元起工測量は、起工測量においてNMBを用いて測

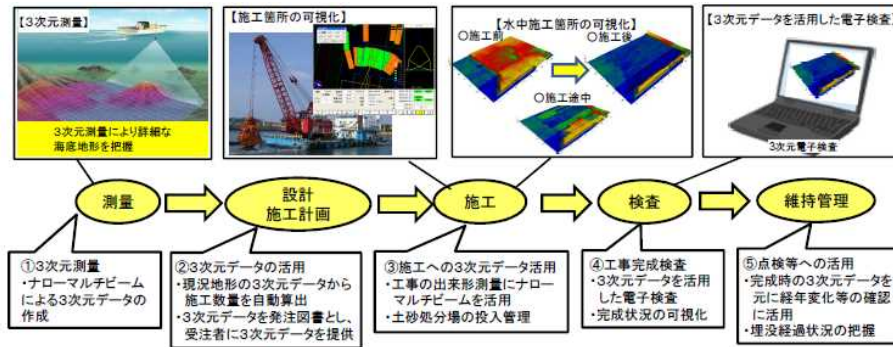


図-2.5 ICT浚渫工（港湾）の概念⁹⁾

量を行うこと、②3次元数量計算は、設計図書を用いて作成した3次元設計データと3次元起工測量により得られる3次元データを用いて数量計算を行うこと、③ICTを活用した施工は、3次元起工測量により得られた3次元データを用いてグラブバケットやカッターヘッドの位置と目標浚渫位置をリアルタイムで可視化し、オペレータを誘導、または機器を自動制御する技術を用いて施工を行うこと、④3次元出来形測量は、浚渫工が完了した後、NMBを用いて出来形測量を行い出来形管理を行うこと、⑤3次元データの納品は、3次元出来形測量により確認された3次元施工管理データを工事完成図書として納品することである（図-2.5）。実施概要を表-2.9に示す。

表-2.9 ICT浚渫工（港湾）の実施概要¹²⁾

「ICT浚渫工」の実施概要	
建設生産プロセスの下記①～⑤の段階において、ICTを全面的に活用する工事である。 ① 3次元起工測量 ② 3次元数量計算 ③ ICTを活用した施工 ④ 3次元出来形測量 ⑤ 3次元データの納品	
対象工種	【工種】浚渫工（【種別】#17 浚渫工、グラブ浚渫工、硬土浚渫工、岩盤浚渫工、R/C浚渫工） ※上記に伴う測量を含む。
発注方式	1) 発注者指定型 発注者の指定によって「ICT活用工事」を実施する場合、 ・「①3次元起工測量」「④3次元出来形測量」については、別途定める「ICT活用工事積算要領（浚渫工種）（平成30年4月改定版）」により、必要費用を当設計に計上する。 ・「②3次元数量計算」「③ICTを活用した施工」については、費用を計上していないため、監査員と協議し、工期末日までに必要な費用を設計変更にて計上する。 2) 施工者希望型 受注者の希望によって「ICT活用工事」を実施する場合、総合評価落札方式において、ICT活用の計画について評価する。 また、全てのICT活用にかかる費用については計上していないため、「①3次元起工測量」「④3次元出来形測量」については、別途定める「ICT活用工事積算要領（浚渫工種）（平成30年4月改定版）」により、「②3次元数量計算」「③ICTを活用した施工」については、監査員との協議により、工期末日までに必要な費用を設計変更にて計上する。
成績評価	ICT活用の計画について工事成績評価で評価する。

※赤字：本年度より試行

ICT浚渫工と従前の浚渫工（港湾）との主な違いは、SB測深からNMB測深が変わることによる、2次元データから3次元データへの変更および平均断面法からTIN（Triangle Irregular Network）法¹⁷⁾への土量計算の変更である。さらに、実態は竣工検査と別途実施されていた水路測量が、ICT浚渫工では竣工検査を水路測量と兼ねることができるようである（表-2.8）。

ICT浚渫工は平成29年度に試行工事24件が実施され³⁾、平成30年度工事は52件実施されている¹²⁾。③のICTを活用した施工は平成30年度から試行が始まっている。

表-2.8 ICT浚渫工（港湾）と従前の浚渫工の主な変更点

	ICT浚渫工	従前の浚渫工
深淺測量	NMB測深	SB測深※
土量計算方法	TIN法	平均断面法
水路測量	竣工検査と兼ねる	竣工検査と別途実施
その他	3次元データ	2次元データ

※NMB測深も可であるがほとんどSB測深

(2) ICT浚渫工（港湾）の基準類の動向

a) 浚渫工（港湾）の基準に必要な観点

港湾の浚渫工の基準に必要な観点は二つある。一つは、船舶の航行安全のために必要な水深を確保すること、もう一つは、工事を実施するにあたり、施工計画（浚渫から運搬、土捨等）や積算等をするための正確な土量を算出することである。

b) 新基準の導入と改定

ICT浚渫工導入のための新基準は、平成28年度にモデル工事を実施し、整備された（表-2.10）。平成29年度には24件の試行工事が実際され、アンケート調査の結果等を踏まえ検証が行われ、取得点密度や測深精度等の基準の改定が行われた（表-2.10）。

表-2.10 ICT浚渫工（港湾）の基準類の新設・改定一覧
（平成29年と平成30年）^{9), 12)}

名称		H29	H30
		新規	改定
全体	ICTの全面的な活用(ICT浚渫工)の推進に関する実施方針	○	
調査・測量、設計	地方整備局(港湾空港関係)の事業における電子納品等運用ガイドライン		○
	マルチビームを用いた深浅測量マニュアル(浚渫工編)(案)	○	○
施工	3次元データを用いた浚渫工事数量算出要領(浚渫工編)(案)	○	○
	3次元データを用いた出来形管理要領(浚渫工編)(案)	○	○
検査	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)(案)	○	○
積算基準	ICT活用工事積算要領(浚渫工編)(案)	○	○

c) 取得点密度と測深精度

マルチビームを用いた深浅測量マニュアル（浚渫工編）平成30年改定版⁴⁾では、取得点密度および点群データ作成の留意点について、

① 工事範囲（浚渫範囲）全体に1.0m平面格子をかけ、1.0m平面格子内に3点以上の取得点密度が確保され、その平面格子数が総平面格子数の90%以上を満たしていること（達成率90%）。ただし、図-2.6のように3点未満の平面格子が連続して分布してはならない。

② 海象条件や特殊な地形などの諸条件により、密度を満たすことができなかつた場合は、監督職員と対応を協議する。

③ 達成率および3点未満の平面格子が連続して分布していないことを確認後、1.0m平面格子内の中央値又は最浅値を抽出し、1.0m平面格子内に1点の点群データを作成する。なお、中央値又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
- と示されている。

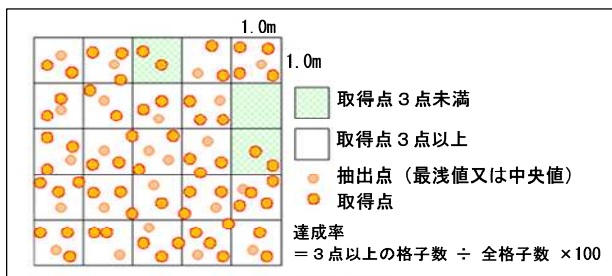


図-2.6 取得点密度の考え方¹³⁾

また、測深精度については、図-2.7に示すとおり左右のビームが100%重複するように2本の平行な測深線およびそれに直行する2本の測深線にする井桁測深を設定し、

このデータにおける重複部の水深差で評価するとされており、この時の精度は±10cm、達成率は90%以上とされている。

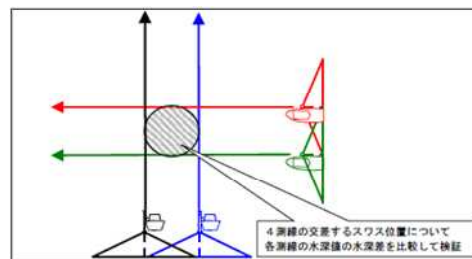


図-2.7 測深イメージ¹³⁾

ICT浚渫工では、従前、SB測深で実施されていた深浅測量がNMB測深に変わり、3次元の点群データを取り扱うこととなった。NMB測深の主な基準に、取得点密度と測深精度があり、平成30年3月の改定で基準の一部が変更されている（表-2.11）。

表-2.11 ICT浚渫工（港湾）の取得点密度と測深精度の基準（平成29年と平成30年改定）

	平成29年	平成30年改定
取得点密度	I. 0.5m平面格子内に3点以上	I. 1.0m平面格子内に3点以上
	II. 達成率90%以上	II. 達成率90%以上
	III. 未達成平面格子の連続不可	III. 未達成平面格子の連続不可
測深精度	i. ±10cm	i. ±10cm
		ii. 達成率90%以上

表-2.11に示すとおり、平成30年の改定内容は、基準の緩和であり、取得点密度の I. 「0.5m」平面格子内に3点以上が「1.0m」平面格子内に3点以上に変更され、測深精度の i. ±10cmに加えて、ii. 達成率90%以上が追加された。

改めて現行の取得点密度の基準は、

- I. 1.0m平面格子内に3点以上の点が必要（以下、「1.0m平面格子3点以上」という。）
 - II. Iの3点以上ある平面格子の達成率90%以上（以下、「達成率90%以上」という。）
 - III. Iの3点未満の平面格子が連続して分布してはならない（以下、「未達成平面格子の連続不可」という。）
- である。

ここで、中央値とは、平面格子内にある点群の中から

標高の順に並べた時の中央の点である。図-2.8で示すとおり、指定した平面格子内に点群が11点あれば順に中央の6番目の点が中央値となる。ICT浚渫工では中央値で土量計算を行う。これは、SB測深は最浅値のみで土量計算や出来形評価を行っていたが、ICT浚渫工導入時の検討の際に中央値と最浅値での土量比較を行い、最浅値よりも中央値の方が全データ（NMB測深で取得した全ての点群の生データからノイズ処理等が行われた点群データのこと。実際の浚渫形状や土量に最も近いとされる。）の土量と近似していたので土量計算の時は中央値を採用することになった経緯がある¹⁴⁾。また、最浅値とは、平面格子内にある点群の中から標高の順に並べた時の最も標高が高い、すなわち最も浅い点である。ICT浚渫工では最浅値で出来形評価を行う。また、海図等の作成や更新のための水路測量においても船舶の航行安全が目的のため、最浅値を採用している。

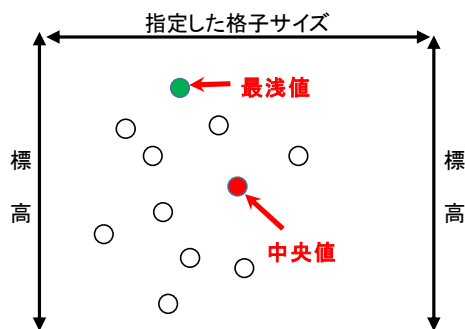


図-2.8 中央値と最浅値の考え方

3. ICT浚渫工（港湾）における取得点密度に関する適正な基準に向けた検討

3.1 マルチビームの導入効果等に関するアンケート調査結果

(1) 平成29年度アンケート調査結果

表-3.1と図-3.1は、平成29年度試行工事の24件のうち、ICT浚渫工の導入効果の把握等を目的として本省が実施した22件（発注者指定型12件と施工者希望型10件）のアンケート調査の結果（抜粋）である。

SB測深と比較したNMB測深の平均作業増減時間を示している。⑤データ解析は平均で+10.2時間と最も増加している。③計測が-2.4時間と最も減少している。①～⑤の全体の平均は+2.5時間の増加であった。

ここで、⑤データ解析とは、取得した全ての点群データから音響的、電氣的ノイズや水中浮遊物、魚群等のエ

ラーデータを除去することである¹³⁾。

表-3.1 1工事当たりの平均作業増減時間
(平成29年度)³⁾

項目	対象件数	増減時間(h)		
		平均	最大減	最大増
①機材搬装	21件	+4.3	±0.0	+12.0
②キャブレーション	19件	+1.4	±0.0	+5.0
③計測	20件	-2.4	-12.0	+3.0
④機材搬装解除	19件	+1.5	±0.0	+4.0
⑤データ解析	21件	+10.2	-32.0	+72.0
⑥土量計算	22件	-0.4	-48.0	+36.0
①～⑥	-	+2.5	-48.0	+72.0

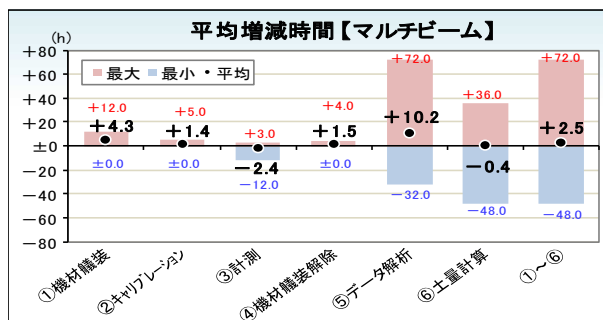


図-3.1 1工事当たりの平均作業増減時間
(平成29年度)³⁾

(2) 平成30年度アンケート調査結果

表-3.2～表-3.4と図-3.2～図-3.4は、平成30年度に実施中・実施済のICT浚渫工のうち、平成29年度と同様に実施した44件（発注者指定型17件と施工者希望型27件）のアンケート調査の結果（抜粋）である。SB測深と比較したNMB測深の作業時間や作業人数、費用の増減を示している。

表-3.2と図-3.2は、1工事当たりの平均作業増減時間を示している。⑦3次元設計データの作成が+22.8時間と最も増加している。④計測が-3.6時間と最も減少している。①～⑩の全体の平均時間は+4.6時間の増加であった。

表-3.2 1工事当たりの平均作業増減時間 (平成30年度) ¹⁵⁾

作業内容	従来方式(シングルヒューム)		IoT方式(マルチヒューム)		作業増減時間(h/工事) (IoT-従来)				
	件数	平均作業時間(h/工事)	件数	平均作業時間(h/工事)	件数	平均	増減率	最大減	最大増
①測量船へ機材積装	39件	1.2	39件	4.0	38件	+2.8	244.0%	-1.0	+8.0
②キャリブレーション(パ・チェックを含む)	39件	0.6	39件	1.1	39件	+0.5	89.6%	±0.0	+1.5
③検測・精度管理	38件	1.0	38件	1.4	38件	+0.4	35.2%	±0.0	+2.0
④計測	39件	10.8	39件	7.3	12件	-3.6	-32.7%	-48.0	+2.0
⑤測量船から機材積装解除	39件	0.8	39件	2.1	38件	+1.3	163.5%	-1.0	+4.0
⑥データ解析	39件	30.6	39件	36.1	30件	+5.5	18.0%	-56.0	+40.0
⑦3次元設計データの作成	39件	3.8	39件	26.6	35件	+22.8	597.3%	-56.0	+100.0
⑧土量計算(3次元設計データ作成を除く)	39件	19.2	39件	19.2	20件	+0.1	0.3%	-72.0	+32.0
⑨出来形管理図表の作成	38件	10.1	38件	10.0	27件	-0.1	-1.4%	-30.0	+20.0
⑩検査・報告用資料の作成(竣工検査)	38件	19.5	38件	26.8	34件	+7.3	37.3%	-24.0	+40.0
⑪検査・報告用資料の作成(水路測量)	32件	90.4	32件	104.3	27件	+13.9	15.4%	-198.0	+90.0
①～⑪の合計時間	-	187.9	-	238.8	-	+50.9	27.1%	-488.0	+358.9
①～⑪の平均時間	-	17.1	-	21.7	-	+4.6	27.1%	-44.2	+32.7

※件数は、作業の該当工事件数 ※合計・平均は、①～⑪の単純合計・平均
※増減率は、従来方式の作業時間との割合「増減率=平均増減時間/従来方式作業時間」

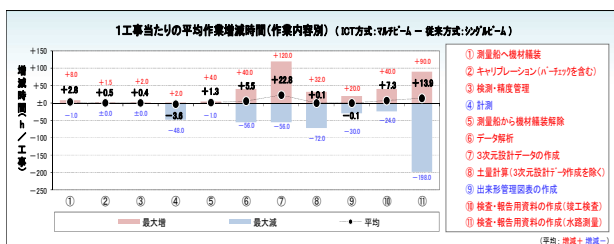


図-3.2 1工事当たりの平均作業増減時間 (平成30年度) ¹⁵⁾

表-3.3と図-3.3は、1日当たりの平均作業増減人数を示している。①～⑤の現場作業の方が⑥～⑪の事務所作業より多くなっている。①～⑪の全体の平均人数は+0.5人の増加であった。

表-3.3 1日当たりの平均作業増減人数 (平成30年度) ¹⁵⁾

作業内容	従来方式(シングルヒューム)		IoT方式(マルチヒューム)		作業人数(人/日) (IoT-従来)				
	件数	平均作業人数(人/日)	件数	平均作業人数(人/日)	件数	平均	増減率	最大減	最大増
①測量船へ機材積装	39件	2.4	39件	3.2	38件	+0.8	33.3%	-1.0	+2.0
②キャリブレーション(パ・チェックを含む)	39件	2.3	39件	2.8	38件	+0.5	23.9%	-1.0	+2.0
③検測・精度管理	38件	2.3	38件	2.8	38件	+0.5	22.1%	±0.0	+2.0
④計測	39件	2.4	39件	2.9	35件	+0.5	20.4%	-1.0	+2.0
⑤測量船から機材積装解除	39件	2.4	39件	3.2	38件	+0.8	35.9%	-1.0	+2.0
⑥データ解析	39件	1.9	39件	2.2	29件	+0.3	16.2%	-2.0	+3.0
⑦3次元設計データの作成	39件	0.5	39件	1.4	36件	+0.9	167.5%	-2.0	+3.0
⑧土量計算(3次元設計データ作成を除く)	39件	1.2	39件	1.5	32件	+0.2	18.8%	-5.0	+5.0
⑨出来形管理図表の作成	38件	1.5	38件	1.7	35件	+0.2	10.5%	-2.0	+1.0
⑩検査・報告用資料の作成(竣工検査)	38件	1.5	38件	1.8	35件	+0.3	23.2%	-2.0	+2.0
⑪検査・報告用資料の作成(水路測量)	33件	1.7	33件	2.0	31件	+0.3	17.5%	-2.0	+2.0
①～⑪の合計人数	-	20.0	-	25.4	-	+5.4	26.8%	-19.0	+26.0
①～⑪の平均人数	-	1.8	-	2.3	-	+0.5	26.8%	-1.7	+2.4

※件数は、作業の該当工事件数 ※合計・平均は、①～⑪の単純合計・平均
※増減率は、従来方式の作業人数との割合「増減率=平均増減人数/従来方式作業人数」

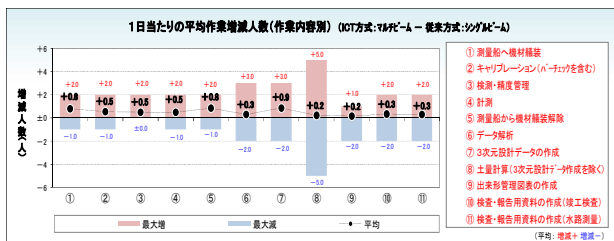


図-3.3 1日当たりの平均作業増減人数 (平成30年度) ¹⁵⁾

表-3.4と図-3.4は、1工事当たりの平均増減費用を示している。⑥データ解析が+806千円と最も多い。費用減はなく、全て費用増で①～⑪の平均費用は+299千円の増加であった。

表-3.4 1工事当たりの平均増減費用 (平成30年度) ¹⁵⁾

作業内容	増減費用(千円/工事) (IoT-従来)			
	件数	平均	最大減	最大増
① 測量船へ機材積装	35件	+297	+30	+900
② キャリブレーション(パ・チェックを含む)	33件	+107	±0	+900
③ 検測・精度管理	26件	+205	±0	+500
④ 計測	24件	+367	-1,000	+3,000
⑤ 測量船から機材積装解除	35件	+180	±0	+900
⑥ データ解析	29件	+806	-2,000	+15,000
⑦ 3次元設計データの作成	28件	+542	-500	+3,000
⑧ 土量計算(3次元設計データ作成を除く)	23件	+111	-3,000	+3,000
⑨ 出来形管理図表の作成	28件	+324	-500	+3,000
⑩ 検査・報告用資料の作成(竣工検査)	30件	+103	-500	+500
⑪ 検査・報告用資料の作成(水路測量)	27件	+245	-500	+2,000
①～⑪の合計増減費用	-	+3,286	-7,970	+32,700
①～⑪の平均費用	-	+299	-725	+2,973

※件数は、作業の該当工事件数 ※合計・平均は、①～⑪の単純合計・平均

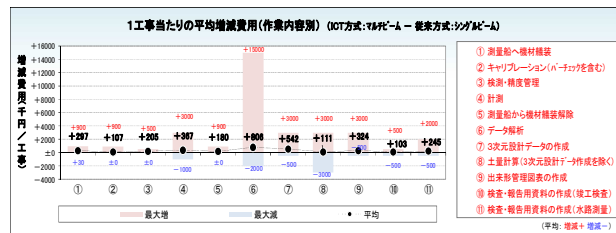


図-3.4 1工事当たりの平均増減費用 (平成30年度) ¹⁵⁾

(3)まとめ

平成29年度(時間のみ)と平成30年度のアンケート調査の結果をみると、時間と人数は減少している項目はあるが、費用においては減少の項目がなかった。また、時間、人数、費用それぞれの平均は全て増加であった。

平成29年度アンケート調査の結果を踏まえて、平成30年に基準の改定が行われ基準が緩和されたが、依然として時間や人数、費用の増加の項目が多いままである。

ICT浸透工の導入により、NMB測深はSB測深に比べ、海域を面的に捕捉できるため海域の未測域が少なく、土量も従前の計算手法である平均断面法に比べ正確に算出可能となった一方で、測深作業やデータ処理等にかかる時間、費用等が増加している問題がある。

生産性向上に向けて、再度、適正な基準の検討が必要であるとする。

3.2 ICT浚渫工（港湾）と水路測量における測深作業等に関する基準

2章3節2項に示したとおり、港湾の浚渫工事は、船舶の航行安全に必要な水深の確保と工事を実施するための正確な土量の算出が必要である。水路測量は、海上保安庁の管轄であり、水路測量業務準則施行細則¹⁶⁾（以下、「水路準則」という。）に従って実施される。ICT浚渫工と水路測量で使用している測深作業等に関する主な基準を表-3.5に示す。取得点密度や測深精度、重複率等、ICT浚渫工は水路測量と比べ要求水準が高い項目が多くあることがわかる。今回はその中で取得点密度に着目する。取得点密度は、ICT浚渫工では1.0m平面格子内に3点以上、達成率90%以上、未取得点平面格子の連続不可に対して、水路測量では水路準則に「5メートル以下の大きさの最浅水深値」と記載されており、点群数の記載はなく、必要なデータは5m以下の平面格子内に最浅値1点となっている。平成30年度の改定で「0.5m平面格子内に3点以上」が「1.0m平面格子内に3点以上」に緩和されたが、水路測量と比べ要求水準が非常に高く、さらに改善の余地があるのではないと思われる。

3.3 検討方法

(1) 基準緩和によるメリット

3章1節と3章2節から現行の基準を緩和できないか、また、適正な基準値は何かを検討する。基準を緩和することにより、測深時の船速を上げたり、気象・海象条件が悪い場合でも待機不要となり測深時間等が短縮することで、作業日数や作業時間が減少すると考えられる。また、取得点が少なくなるとデータ量が少なくなるのでデータ処理が速くなると考えられる。それにより、作業効率上がり、生産性向上につながるといえる。そこで、下記の方法により検討を行った。

(2) 検討方法 I

a) 間引き

今回は点群処理ソフトの均等間引きフィルタリング（以下、「間引き」という。）機能を使い、点群が十分に取得できない状況を模擬する。これは全データから指定した範囲の点群の点をランダムに除外する機能である。例えば、全点群の点数が100点だとすると2分の1間引きを実行すると50点となる。

b) 密度確認

密度確認とは、指定した大きさの平面格子内に指定した点数以上の点群があるか確認する機能である。例えば、1.0m平面格子内に3点以上だと点数が3点以上ある平面格子は青色表示（適合）され、点数3点未満の平面格子は赤色表示（不適合）される（図-3.5）。また、密度確認を実行すると密度結果の表が表示される（図-3.6）。これを見ると達成率99.9%なので現行基準の達成率90%以上を満たしているが、一部を拡大すると赤色の平面格子が2個連続しており（図-3.7）、未達成平面格子の連続不可となるのでこの点群データは平成30年改定の基準（表-2.7）を満たさないこととなる。

表-3.5 ICT浚渫工（港湾）と水路測量における測深作業等に関する基準

項目		ICT浚渫工(港湾) ¹³⁾	水路測量 ¹⁶⁾
スワス測深機器		マルチビーム	マルチビームまたはインターフェオトリ
取得点密度	メッシュ	1.0m平面格子3点以上	一辺5.0m以下の格子の最浅値、点群数記載なし
	達成率	90%以上	-
	その他	未達成平面格子の連続不可	-
測深精度	許容範囲	±10cm以内	$\sqrt{a^2+(bd)^2}$ dは水深 ・特級(a=0.25m,b=0.0075) ・1a級および1b級(a=0.5m,b=0.013)
	達成率	90%以上	-
シングルビーム併用		-	1a級以上の水域等
測深精度 確認作業	場所	-	起伏のある海底の海域
	頻度	1日1回	1日1回以上または送受信機が船底装備の場合は測量作業毎に最低1回
	メッシュ	1.0m平面格子(出来形に必要なサイズ)	1.0~2.0mメッシュで最浅値でグリッド化
重複率		一般的に片舷ビーム幅100%以上	一般的に20% 岩礁等海底障害物がある場合は片側ビーム幅100%以上を推奨
異状記録等の処置	突起の処置の省略	-	(1)比高が0.5m以下 (2)周囲の海底より深い局部的な凹部

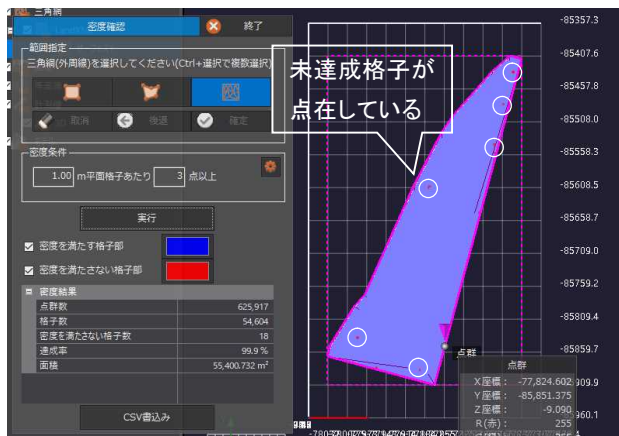


図-3.5 密度確認の画面（全体）

密度結果	
点群数	625,917
格子数	54,604
密度を満たさない格子数	18
達成率	99.9%
面積	55,400.732 m ²

図-3.6 密度確認の画面（密度結果表拡大）

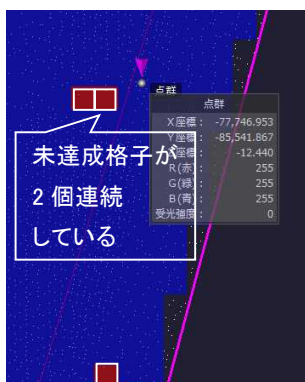


図-3.7 密度確認の画面（一部拡大）

c) 密度確認による検討

3次元設計データとNMBでの起工測量の点群データを使用し、全データから間引きした後に密度確認を実行し、結果を比較し適正な基準を検討する。

(3) 検討方法Ⅱ

a) 格子フィルタリング

今回の点群処理ソフトの格子フィルタリング機能は指定した大きさの平面格子内にある点群の中から指定した点数を残し、それ以外を除外する機能、すなわち平面格子内を指定した点群密度にする機能である。例えば、現

行の土量計算の算出方法は、「3次元点群データのうち1.0m平面格子内の点群の中央値を抽出して作成されたTINにより求める方法」¹⁷⁾（以下、「格子密度1.0m1点中央値」という。）とされており、この格子フィルタリング機能を使用し、土量計算を行う。また、3章4節で検討する格子密度0.5m3点中央値とは0.5m平面格子内の点群の中から中央の値の3点を残しそれ以外の点を除外すること、格子密度1.0m1点最浅値とは1.0m平面格子内の点群の中から最も浅い1点を残しそれ以外の点を除外することである。

b) 土量確認による検討

3次元設計データとNMBでの起工測量の点群データを使用し、全データから間引きした後に格子フィルタリングを実行後、土量計算を行う。そして、全データの土量を基準に、各土量計算結果および平均断面法の土量との増減率を比較し検討する。

(4) 検討工事の概要

検討に使用した工事を表-3.6に示す。平成29年度試行工事の中から全データと3次元設計データのある7工事で検討を行った。

ここで、鹿島港2の工事は浚渫場所が2箇所に分かれているので別工事とし、鹿島港2-1と鹿島港2-2と二つの工事としている。また、平均断面法との土量比較は、受注者で行った平均断面法の土量計算結果のある4工事で検討している。平均断面法の土量比較ではデータの関係上、鹿島港2（鹿島港2-1と鹿島港2-2の合計）を1工事として行った。

3.4 密度確認による検討（検討方法Ⅰ）

(1) 密度確認方法

7工事の点群データの全データと全データから1/5間引き、1/10間引き、1/18間引きした4つの点群パターンから0.5m平面格子3点以上、1.0m平面格子3点以上、1.0m平面格子1点以上の3つの条件で密度確認を行った。

ここで、間引きの設定は、7工事のおおよその平均点群数が50点/m²前後であることを踏まえ、1/5間引きで平均点群数10点/m²前後、1/10間引きで平均点群数5点/m²前後、1/18間引きで平均点群数3点/m²前後となるように行った。平均点群数は間引き等した後の全体の点群数を浚渫面積で割った値である。

表-3.6 検討工事一覧

	略称	工事件名	工期	浚渫工法	水深	浚渫面積 [m ²]	1m ² あたりの 平均点群数 [点/m ²]*3	平均断面法での土 量計算の有無 (受注者計算)
1	鹿島港1	鹿島港外港地区航路・泊地 (-14m)浚渫工事	H29.4.27～H30.3.15	グラブ	-14m	48,075	46	有
2	石狩湾新港	石狩湾新港航路浚渫工事	H29.5.20～H29.9.20	グラブ	-14m	55,401	57	有
3	金沢港	金沢港(大野地区)航路 (-13m)浚渫工事	H29.7.13～H29.12.12	ポンプ	-13m	35,672	373	無
4	鹿島港2-1※1	鹿島港外港地区航路・泊地 (-14m)浚渫工事(その2)	H29.4.27～H29.12.15	グラブ	-14m	18,733	53	有※2
5	鹿島港2-2※1					80,183	46	
6	酒田港	酒田港北港地区泊地 (-13m)浚渫工事(H29)	H29.7.22～H29.12.22	ポンプ	-13m	57,628	159	無
7	神戸港	神戸港ポートアイランド(第2期) 地区航路(-16m)浚渫工事	H29.9.29～H30.3.16	グラブ	-16m	371,062	133	有

※1: 1つの工事で2つの浚渫エリアがあるため2つに分けている。

※2: 平均断面法での土量計算結果は鹿島2-1と鹿島2-2の合計のみ(鹿島2とする)。

※3: 全データの点群数を浚渫面積で割ったもの。

(2) 密度確認結果

鹿島港1の密度確認結果を表-3.7に示す。①点群数は3次元設計データの施工範囲内にある点群の点数、②面積は3次元設計データの施工範囲の面積、③平均点群数は①点群数を②面積で割った1m²当たりの平均点群数、④～⑥は各点群条件を満たした平面格子の数の割合(達成率)と未達成平面格子の連続の有無であり、かっこ内の数値は未達成平面格子の数を表す(各工事の密度確認結果を「付録A」に掲載する。)

鹿島港1を抜粋して密度確認結果を確認すると、達成率99%以上でも未達成平面格子の連続がある場合とない場合がある。さらに、達成率99.9%以上でも未達成平面格子の連続がある場合とない場合がある。そこで、達成率99%以上と達成率99.9%以上の未達成平面格子の連続の有無を7工事分で集計した(表-3.8)。

達成率99%で未達成平面格子の連続の点群パターンが約7割あった。さらに、達成率99.9%であっても未達成平面格子の連続のある点群パターンが6割以上あった。

表-3.8 未達成平面格子の連続の有無に関する集計表

達成率	未達成平面 格子の連続 の有無	点群 パターン数	割合
99%以上	有	18	69.2%
	無	8	30.8%
99.9%以上	有	14	66.7%
	無	7	33.3%

(3) まとめ

未達成平面格子の連続不可の基準を満たすためには達成率99.9%よりもさらに高い達成率が必要であり、ほぼ100%にする必要があるため、未達成平面格子の連続不可の基準は達成率99.9%より要求水準が高いと思われる。

3.5 土量確認による検討(検討方法Ⅱ)

(1) 土量確認方法

7工事の点群データの全データと全データから1/5間引き、1/10間引き、1/18間引きした4つの点群パターンと格子密度0.5m平面格子3点(グラフ上、「3点/0.25m²」とする。)の中央値と最浅値、格子密度1.0m平面格子3点

表-3.7 密度確認結果(鹿島港1)

鹿島港1		①	②	③=①/②	④		⑤		⑥	
		点群数 [個]	浚渫面積 [m ²]	1m ² 当りの 平均点群数 [点/m ²]	密度確認0.5m3点 達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	密度確認1.0m3点 達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	密度確認1.0m1点 達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無
1	全データ	2,221,160	48,075	46	99.9%	有(64)	100.0%	無	100.0%	無
2	1/5間引き	444,228	48,075	9	42.3%	有	99.9%	無(4)	100.0%	無
3	1/10間引き	222,136	48,075	5	1.8%	有	86.2%	有	99.9%	無(1)
4	1/18間引き	123,419	48,075	3	0.0%	有	53.8%	有	99.7%	有(141)

(グラフ上, 「3点/m²」とする.) の中央値と最浅値, 格子密度1.0m平面格子1点(グラフ上, 「1点/m²」とする.) の中央値と最浅値, 格子密度2.0m平面格子1点(グラフ上, 「1点/4m²」とする.) の中央値と最浅値で土量計算を行い, 全データの土量を基準とし, 各工事の土量計算結果および平均断面法の土量との増減量およびその増減率(以下, 「増減率」という.) を算出した. そして, 各工事の土量確認結果を表にまとめ(土量確認結果表のサンプルを表-3.9, 各工事の土量確認結果を「付録B」に掲載する.), 増減率を点群パターン毎にグラフにして比較し検討した(図-3.8~図-3.16).

(2) 土量確認結果

全データの土量に対する間引きなしの格子密度1.0m平面格子1点の中央値の土量と平均断面法の土量の増減率を図-3.8に示す. 鹿島港1の1工事以外は平均断面法の土量が大きくなった.

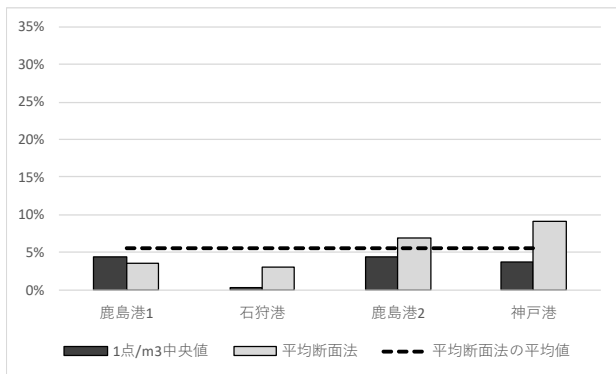


図-3.8 全データ土量に対する間引きなし1点/m²中央値土量と平均断面法土量の工事毎の増減率

ここから, 増減率の比較の判定基準が分かりにくいので, 従前の計算手法である平均断面法の土量の増減率の4つの値の平均値+5.7%(以下, 「平均断面法増減率」という.) を判定の目安にすることにした.

図-3.9~図-3.12は各工事の全データの土量に対する間引き毎の格子密度別中央値の土量の増減率を示している.

鹿島港2-1以外は平均断面法増減率と比べて誤差がほとんどない. 鹿島港2-1のみ平均断面法増減率より誤差が大きい場合もあるが+0.5%以下である. また, どの間引きパターンでも格子密度が粗くなくてもほとんど変化はなかった.

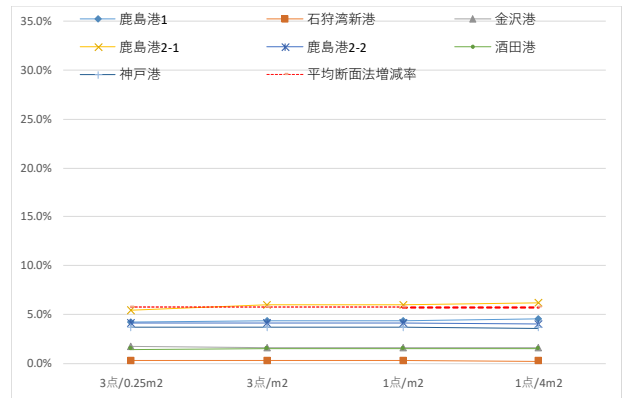


図-3.9 各工事の全データ土量に対する間引きなしの格子密度毎の中央値土量の増減率

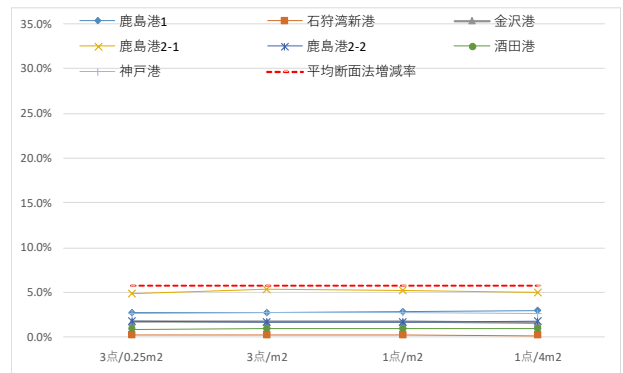


図-3.10 各工事の全データ土量に対する1/5間引きの格子密度毎の中央値土量の増減率

表-3.9 土量確認結果表 (サンプル)

点群パターン	格子密度	全データ			1/5間引き		1/10間引き		1/18間引き	
		土量 [m ³]	基準値に対して 増減[m ³]	増減率[%]	土量 [m ³]	基準値に対して 増減[m ³]	増減率[%]	土量 [m ³]	基準値に対して 増減[m ³]	増減率[%]
1	格子フルタック無し	基準値								
2	0.5m3点中央値									
3	1.0m3点中央値									
4	1.0m1点中央値									
5	2.0m1点中央値									
6	0.5m3点最浅値									
7	1.0m3点最浅値									
8	1.0m1点最浅値									
9	2.0m1点最浅値									
10	平均断面法									

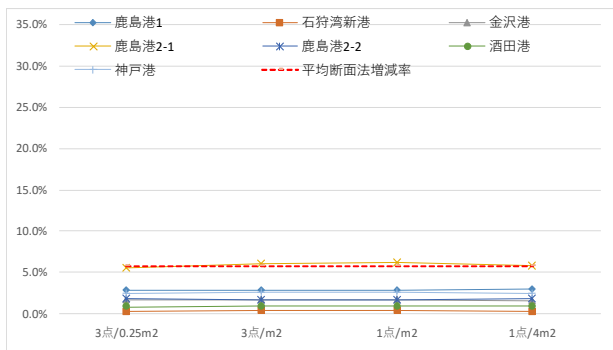


図-3.11 各工事の全データ土量に対する1/10間引きの格子密度毎の中央値土量の増減率

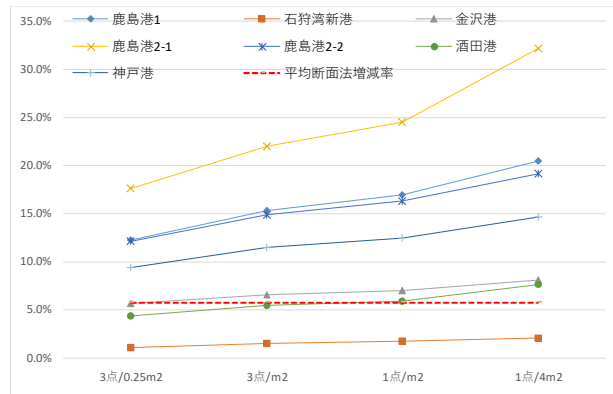


図-3.13 各工事の全データ土量に対する間引きなしの格子密度毎の最浅値土量の増減率

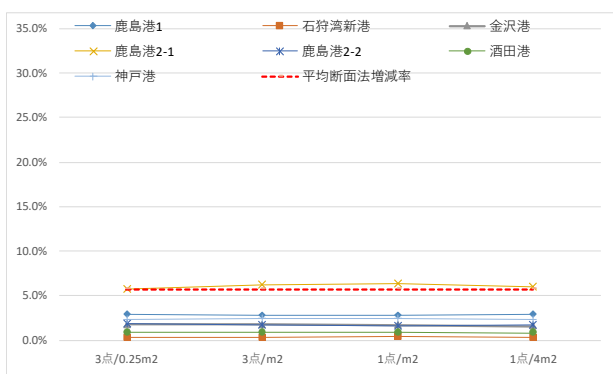


図-3.12 各工事の全データ土量に対する1/18間引きの格子密度毎の中央値土量の増減率

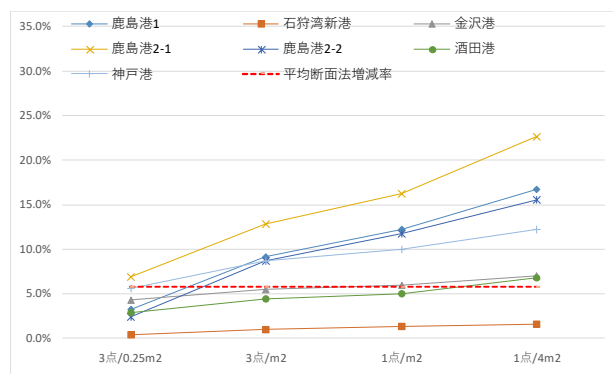


図-3.14 各工事の全データ土量に対する1/5間引きの格子密度毎の最浅値土量の増減率

図-3.13～図-3.16は各工事の全データの土量に対する間引き毎の格子密度別最浅値の土量の増減率を示している。平均断面法増減率よりも大きくなることが多く、格子密度が粗くなると誤差が大きくなる傾向であった。また、最浅値は間引き量が増えると格子密度が粗くなるにつれての誤差が小さくなる傾向にあった。鹿島港2-1は誤差も大きく、間引き量が増えると誤差+20%と非常に大きくなっている。石狩湾新港は間引きや格子密度の違いで誤差はほとんど変化せず、ほぼ誤差2%以内であった。

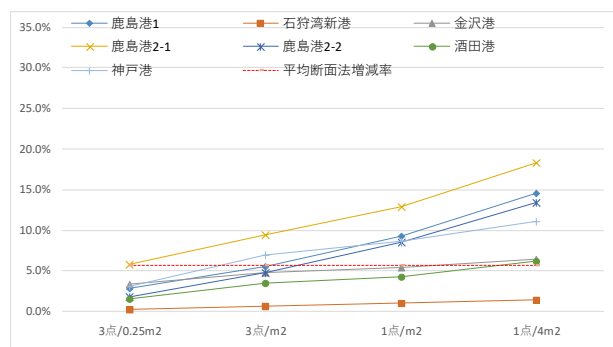


図-3.15 各工事の全データ土量に対する1/10間引きの格子密度毎の最浅値土量の増減率

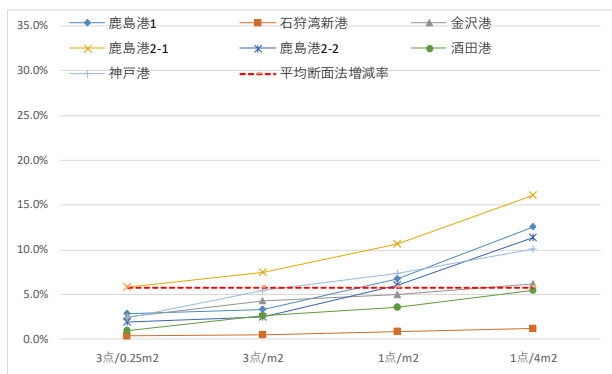


図-3.16 各工事の全データ土量に対する1/18間引きの格子密度毎の最浅値土量の増減率

(3)まとめ

- 全データの土量に対して各工事の増減率は、
- ・全ての点群パターンでプラスの値となっている。
 - ・中央値は格子密度の粗さで誤差は小さく、平均断面法増減率に比べほとんど誤差がなかった。
 - ・最浅値は格子密度が粗くなると誤差は大きくなり、平均断面法増減率よりも誤差が大きくなるが多かった。また、誤差が10%以上と非常に大きくなる場合も多くあった。
 - ・格子密度1.0m平面格子1点中央値と平均断面法増減率は、1工事を除いて平均断面法増減率の方が大きい値であった。

このことから、以下のことが考えられる。

- ・最浅値は土量の誤差が大きい。
- ・中央値は従前の平均断面法より全データの値に近く、より実際の土量に近いと思われる。
- ・中央値は間引きや格子密度の違いによる土量の誤差が小さいので、取得点密度を減らしても大きな問題が生じないといえる。

4. ICT浚渫工（港湾）における取得点密度に関する基準の改定案

4.1 改定案の提案

間引きや格子フィルタリング機能を使い、密度確認結果と土量確認結果の比較を行い検討した結果、以下とおり基準の改定案を提案する。

改定案の導入にあたっては、船社や専用岸壁管理者、水先人等の利用者や港湾管理者等の利害関係者等への十分な周知、説明等の配慮が必要である。

II. 取得点密度の達成率90%以上を「達成率99%以上」

に変更する。

III. 未達成平面格子の連続不可を「廃止」する。

理由は以下のとおり。

- ・IIIについて、未達成平面格子の連続不可の基準があるため、達成率が99.9%であっても基準を満たさない場合が多く発生する。
- ・IIおよびIIIについて、達成率99%以上の時に未達成平面格子が連続する箇所はあったが、一箇所に集中するようなことはなかった。
- ・IIについて、1.0m平面格子3点以上では1/5間引き（不十分な点群の取得環境を模擬）の達成率が全て99.9%以上であった。

基準の改定案を提案するマニュアル・要領は、以下のとおりである。

- ・マルチビームを用いた深浅測量マニュアル（浚渫工編）平成30年4月改定版¹³⁾
- ・3次元データを用いた港湾工事数量算出要領（浚渫工編）平成30年4月改定版¹⁷⁾
- ・3次元データを用いた出来形管理要領（浚渫工編）平成30年4月改定版¹⁸⁾
- ・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）平成30年4月改定版¹⁹⁾

4.2 改定案による効果

取得点密度の基準緩和により、以下の効果が期待でき、生産性の向上が考えられる。

①データ処理時間の削減

点群が少なくなりデータ解析や土量計算等の処理時間が短くなるので作業効率が上がる。また、処理を速くするためのハイスペックパソコン等の費用の削減が期待できる。

②データ保管の省力化

データ量が小さくなりデータを保存するためのハードディスク等の容量が小さくなるので、費用負担の削減が期待できる。

③測深船速のアップ

測深時の測量船の船速を速くすることが可能となり測深時間が短くできるので、作業時間の短縮が期待できる。

④作業中止基準の緩和

気象・海象条件によっては取得点密度が十分に取得できないと判断し中止していた測深作業が実施可能となり、待機時間の削減が期待できる。

⑤重複率の緩和（表-3.5）

現行の基準では測深時、一般的には片舷ビーム幅100%

以上の重複率が設定されているが、緩和が可能となり測線数が減り作業時間の削減が期待できる。

⑥再測の削減

点群不足による再測深の可能性が減り、作業時間の削減が期待できる。

5. おわりに

本研究では、ICT浚渫工の次期基準改定に向け、NMB測深の取得点密度の改定案を提案した。今回の検討は、要求水準が非常に高くなっている土量計算に必要な取得点密度について、安全性確保（水深確保）のための水路測量の水準と整合させることで適正化を図り、短期的な生産性向上を目指すものである。一方で中長期的には測量方法や機材精度等を踏まえつつ、土量計算、水路測量それぞれの目的に沿った適正な基準とすることが望ましい。

港湾分野では本年度もICT基礎工、ICTブロック据付工のモデル工事が実施されるなどNMBの活用が今後も想定されることから、本検討が活かされ、生産性向上の一助となれば幸いである。

(2019年2月14日受付)

謝辞

最後に本研究にあたって、貴重なご意見やご指導して頂いた海洋調査協会の会員各社の方々に、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) i-Construction委員会：i-Construction～建設現場の生産性革命～，2016，<http://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 2) 港湾におけるICT導入検討委員会：第5回委員会資料，2018，<http://www.mlit.go.jp/common/001224632.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 3) ICT導入協議会：第7回協議会資料（資料-1），2018，<http://www.mlit.go.jp/common/001248774.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 4) ICT導入協議会：第2回協議会資料（資料-2-2），2016，<http://www.mlit.go.jp/common/001137297.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 5) ICT導入協議会：第2回協議会資料（資料-1-1），2016，<http://www.mlit.go.jp/common/001137294.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 6) ICT導入協議会：第4回協議会資料（資料-2），2017，<http://www.mlit.go.jp/common/001174969.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 7) i-Construction推進コンソーシアム：第3回企画委員会資料（参考資料），2018，http://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/pdf/04.3_kikaku_sankou.pdf（2019年1月31日最終アクセス）
- 8) ICT導入協議会：第4回協議会資料（資料-4），2017，<http://www.mlit.go.jp/common/001174971.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 9) ICT導入協議会：第5回協議会資料（参考資料-1），2017，<http://www.mlit.go.jp/common/001198224.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 10) ICT導入協議会：第6回協議会資料（資料-3），2018，<http://www.mlit.go.jp/common/001226090.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 11) ICT導入協議会：第6回協議会資料（資料-1），2018，<http://www.mlit.go.jp/common/001226088.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 12) 港湾におけるICT導入検討委員会：第6回委員会資料（参考資料），2018，<http://www.mlit.go.jp/common/001260633.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 13) 国土交通省：マルチビームを用いた深浅測量マニュアル（浚渫工編）平成30年4月改定版，2018，<http://www.mlit.go.jp/common/001228009.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 14) 港湾におけるICT導入検討委員会：第1回委員会資料（参考資料），2016，<http://www.mlit.go.jp/common/001154286.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 15) 国土交通省国土技術政策総合研究所：平成30年度港湾分野における情報通信技術等の活用に関する検討業務報告書，2018
- 16) 海上保安庁：水路測量業務準則施行細則，2014，http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/saisoku.pdf，（2019年1月31日最終アクセス）
- 17) 国土交通省：3次元データを用いた港湾工事数量算出要領（浚渫工編）平成30年4月改定版，2018，<http://www.mlit.go.jp/common/001228010.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）
- 18) 国土交通省：3次元データを用いた出来形管理要領（浚渫工編）平成30年4月改定版，2018，<http://www.mlit.go.jp/common/001228014.pdf>（2019年1月31日最終アクセス）

- 19) 国土交通省：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)平成30年4月改定版, 2018,
<http://www.mlit.go.jp/common/001228015.pdf>
(2019年1月31日最終アクセス)

付録A 密度確認結果

表-A.1 密度確認結果（鹿島港1）

鹿島港1

		① 点群数 [個]	② 浚渫面積 [m ²]	③=①/② 1m ² 当りの 平均点群数 [点/m ²]	④ 密度確認0.5m3点		⑤ 密度確認1.0m3点		⑥ 密度確認1.0m1点	
					達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無
1	全データ	2,221,160	48,075	46	99.9%	有(64)	100.0%	無	100.0%	無
2	1/5間引き	444,228	48,075	9	42.3%	有	99.9%	無(4)	100.0%	無
3	1/10間引き	222,136	48,075	5	1.8%	有	86.2%	有	99.9%	無(1)
4	1/18間引き	123,419	48,075	3	0.0%	有	53.8%	有	99.7%	有(141)

※:()は未達成平面格子の数

表-A.2 密度確認結果（石狩湾新港）

石狩湾新港

		① 点群数 [個]	② 浚渫面積 [m ²]	③=①/② 1m ² 当りの 平均点群数 [点/m ²]	④ 密度確認0.5m3点		⑤ 密度確認1.0m3点		⑥ 密度確認1.0m1点	
					達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無
1	全データ	3,176,193	55,401	57	99.9%	有(315)	100.0%	無	100.0%	無
2	1/5に間引き	635,249	55,401	11	64.1%	有	99.9%	有(18)	99.9%	無(1)
3	1/10に間引き	317,631	55,401	6	4.4%	有	97.6%	有	99.9%	有(7)
4	1/18に間引き	176,467	55,401	3	0.1%	有	74.5%	有	99.9%	有(51)

※:()は未達成格子の数

表-A.3 密度確認結果（金沢港）

金沢港

		① 点群数 [個]	② 浚渫面積 [m ²]	③=①/② 1m ² 当りの 平均点群数 [点/m ²]	④ 密度確認0.5m3点		⑤ 密度確認1.0m3点		⑥ 密度確認1.0m1点	
					達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無
1	全データ	13,304,446	35,672	373	100.0%	無	100.0%	無	100.0%	無
2	1/5に間引き	2,460,936	35,672	69	100.0%	無	100.0%	無	100.0%	無
3	1/10に間引き	1,230,497	35,672	34	99.8%	有(234)	100.0%	無	100.0%	無
4	1/18に間引き	683,636	35,672	19	95.0%	有	100.0%	無	100.0%	無

※:()は未達成格子の数

表-A.4 密度確認結果（鹿島港2-1）

鹿島港2-1

		① 点群数 [個]	② 浚渫面積 [m ²]	③=①/② 1m ² 当りの 平均点群数 [点/m ²]	④ 密度確認0.5m3点		⑤ 密度確認1.0m3点		⑥ 密度確認1.0m1点	
					達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無
1	全データ	999,473	18,733	53	100.0%	無(12)	100.0%	無(0)	100.0%	無
2	1/5に間引き	199,901	18,733	11	49.1%	有	99.9%	無(1)	100.0%	無
3	1/10に間引き	99,954	18,733	5	8.9%	有	87.5%	有	99.9%	無(2)
4	1/18に間引き	55,533	18,733	3	0.4%	有	59.0%	有	99.7%	有(56)

※:()は未達成格子の数

表-A.5 密度確認結果（鹿島港2-2）

鹿島港2-2

		① 点群数 [個]	② 浚渫面積 [m ²]	③=①/② 1m ² 当りの 平均点群数 [点/m ²]	④ 密度確認0.5m3点		⑤ 密度確認1.0m3点		⑥ 密度確認1.0m1点	
					達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無
1	全データ	3,684,400	80,183	46	99.9%	有(326)	99.9%	無(3)	100.0%	無
2	1/5に間引き	736,889	80,183	9	39.9%	有	99.9%	有(54)	99.9%	無(3)
3	1/10に間引き	368,450	80,183	5	2.2%	有	86.7%	有	99.9%	有(13)
4	1/18に間引き	204,700	80,183	3	0.0%	有	51.3%	有	99.5%	有(359)

※:()は未達成格子の数

表-A.6 密度確認結果（酒田港）

酒田港

		① 点群数 [個]	② 浚渫面積 [m ²]	③=①/② 1m ² 当りの 平均点群数 [点/m ²]	④ 密度確認0.5m3点		⑤ 密度確認1.0m3点		⑥ 密度確認1.0m1点	
					達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無
1	全データ	9,185,908	57,628	159	100.0%	無	100.0%	無	100.0%	無
2	1/5に間引き	1,837,243	57,628	32	99.9%	有(241)	100.0%	無	100.0%	無
3	1/10に間引き	918,660	57,628	16	84.3%	有	100.0%	無	100.0%	無
4	1/18に間引き	510,400	57,628	9	34.6%	有	99.9%	無(7)	100.0%	無

※:()は未達成格子の数

表-A.7 密度確認結果（神戸港）

神戸港

		① 点群数 [個]	② 浚渫面積 [m ²]	③=①/② 1m ² 当りの 平均点群数 [点/m ²]	④ 密度確認0.5m3点		⑤ 密度確認1.0m3点		⑥ 密度確認1.0m1点	
					達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無	達成率 [%]	未達成平 面格子連 続の有無
1	全データ	49,438,070	371,002	133	99.9%	有(6)	100.0%	無	100.0%	無
2	1/5に間引き	9,888,274	371,002	27	99.9%	有(89)	100.0%	無	100.0%	無
3	1/10に間引き	4,944,550	371,002	13	86.7%	有	99.9%	有(2)	100.0%	無
4	1/18に間引き	2,747,339	371,002	7	13.2%	有	99.9%	有(5)	100.0%	無

※:()は未達成格子の数

付録B 土量確認結果

表-B.1 土量確認結果（鹿島港1）

鹿島港1

	点群パターン 格子密度	全データ			1/5間引き			1/10間引き			1/18間引き		
		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して	
			増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]
1	格子フィルタリング無し	11,477	基準	0.0%	11,795	318	2.8%	11,802	325	2.8%	11,807	330	2.9%
2	0.5m3点中央値	11,960	483	4.2%	11,799	322	2.8%	11,803	326	2.8%	11,807	330	2.9%
3	1.0m3点中央値	11,979	502	4.4%	11,799	322	2.8%	11,802	325	2.8%	11,803	326	2.8%
4	1.0m1点中央値	11,979	502	4.4%	11,806	329	2.9%	11,808	331	2.9%	11,801	324	2.8%
5	2.0m1点中央値	11,997	520	4.5%	11,821	344	3.0%	11,821	344	3.0%	11,819	342	3.0%
6	0.5m3点最浅値	12,883	1,406	12.3%	11,846	369	3.2%	11,803	326	2.8%	11,807	330	2.9%
7	1.0m3点最浅値	13,238	1,761	15.3%	12,530	1,053	9.2%	12,112	635	5.5%	11,862	385	3.4%
8	1.0m1点最浅値	13,418	1,941	16.9%	12,887	1,410	12.3%	12,539	1,062	9.3%	12,258	781	6.8%
9	2.0m1点最浅値	13,825	2,348	20.5%	13,401	1,924	16.8%	13,156	1,679	14.6%	12,921	1,444	12.6%
10	平均断面法(受注者)	11,876	399	3.5%									

表-B.2 土量確認結果（石狩湾新港）

石狩湾新港

	点群パターン 格子密度	全データ			1/5間引き			1/10間引き			1/18間引き		
		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して	
			増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]
1	フィルタリング無し	69,652	基準	0.0%	69,858	206	0.3%	69,887	235	0.3%	69,904	252	0.4%
2	0.5m3点中央値	69,842	190	0.3%	69,871	219	0.3%	69,887	235	0.3%	69,904	252	0.4%
3	1.0m3点中央値	69,842	190	0.3%	69,873	221	0.3%	69,902	250	0.4%	69,915	263	0.4%
4	1.0m1点中央値	69,836	184	0.3%	69,851	199	0.3%	69,896	244	0.4%	69,928	276	0.4%
5	2.0m1点中央値	69,826	174	0.2%	69,831	179	0.3%	69,846	194	0.3%	69,875	223	0.3%
6	0.5m3点最浅値	70,378	726	1.0%	69,928	276	0.4%	69,888	236	0.3%	69,904	252	0.4%
7	1.0m3点最浅値	70,728	1,076	1.5%	70,336	684	1.0%	70,133	481	0.7%	69,976	324	0.5%
8	1.0m1点最浅値	70,890	1,238	1.8%	70,563	911	1.3%	70,388	736	1.1%	70,237	585	0.8%
9	2.0m1点最浅値	71,087	1,435	2.1%	70,779	1,127	1.6%	70,630	978	1.4%	70,497	845	1.2%
10	平均断面法(受注者)	71,735	2,083	3.0%									

表-B.3 土量確認結果（金沢港）

金沢港

	点群パターン 格子密度	全データ			1/5間引き			1/10間引き			1/18間引き		
		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して	
			増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]
1	フィルタリング無し	21,752	基準	0.0%	21,998	246	1.1%	22,056	304	1.4%	22,112	360	1.7%
2	0.5m3点中央値	22,113	361	1.7%	22,121	369	1.7%	22,111	359	1.7%	22,131	379	1.7%
3	1.0m3点中央値	22,111	359	1.7%	22,121	369	1.7%	22,114	362	1.7%	22,131	379	1.7%
4	1.0m1点中央値	22,110	358	1.6%	22,122	370	1.7%	22,111	359	1.7%	22,130	378	1.7%
5	2.0m1点中央値	22,094	342	1.6%	22,095	343	1.6%	22,084	332	1.5%	22,104	352	1.6%
6	0.5m3点最浅値	22,992	1,240	5.7%	22,681	929	4.3%	22,478	726	3.3%	22,302	550	2.5%
7	1.0m3点最浅値	23,186	1,434	6.6%	22,939	1,187	5.5%	22,787	1,035	4.8%	22,673	921	4.2%
8	1.0m1点最浅値	23,281	1,529	7.0%	23,058	1,306	6.0%	22,926	1,174	5.4%	22,824	1,072	4.9%
9	2.0m1点最浅値	23,520	1,768	8.1%	23,286	1,534	7.1%	23,171	1,419	6.5%	23,080	1,328	6.1%

表-B.4 土量確認結果（鹿島港2-1）

鹿島港2-1

	点群パターン 格子密度	全データ			1/5間引き			1/10間引き			1/18間引き		
		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して	
			増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]
1	フィルタリング無し	2890	基準	0.0%	3020	130	4.5%	3050	160	5.5%	3057	167	5.8%
2	0.5m3点中央値	3046	156	5.4%	3032	142	4.9%	3051	161	5.6%	3057	167	5.8%
3	1.0m3点中央値	3062	172	6.0%	3044	154	5.3%	3065	175	6.1%	3069	179	6.2%
4	1.0m1点中央値	3064	174	6.0%	3042	152	5.3%	3068	178	6.2%	3072	182	6.3%
5	2.0m1点中央値	3070	180	6.2%	3033	143	4.9%	3058	168	5.8%	3063	173	6.0%
6	0.5m3点最浅値	3400	510	17.6%	3088	198	6.9%	3057	167	5.8%	3057	167	5.8%
7	1.0m3点最浅値	3526	636	22.0%	3260	370	12.8%	3163	273	9.4%	3105	215	7.4%
8	1.0m1点最浅値	3597	707	24.5%	3358	468	16.2%	3262	372	12.9%	3198	308	10.7%
9	2.0m1点最浅値	3821	931	32.2%	3545	655	22.7%	3419	529	18.3%	3355	465	16.1%

表-B.5 土量確認結果（鹿島港2-2）

鹿島港2-2

	点群パターン 格子密度	全データ			1/5間引き			1/10間引き			1/18間引き		
		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して	
			増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]
1	フィルタリング無し	15341	基準	0.0%	15617	276	1.8%	15625	284	1.9%	15630	289	1.9%
2	0.5m3点中央値	15978	637	4.2%	15626	285	1.9%	15625	284	1.9%	15630	289	1.9%
3	1.0m3点中央値	15974	633	4.1%	15593	252	1.6%	15595	254	1.7%	15602	261	1.7%
4	1.0m1点中央値	15973	632	4.1%	15603	262	1.7%	15592	251	1.6%	15592	251	1.6%
5	2.0m1点中央値	15960	619	4.0%	15620	279	1.8%	15630	289	1.9%	15613	272	1.8%
6	0.5m3点最浅値	17199	1858	12.1%	15710	369	2.4%	15625	284	1.9%	15630	289	1.9%
7	1.0m3点最浅値	17631	2290	14.9%	16668	1327	8.7%	16069	728	4.7%	15720	379	2.5%
8	1.0m1点最浅値	17841	2500	16.3%	17138	1797	11.7%	16648	1307	8.5%	16268	927	6.0%
9	2.0m1点最浅値	18278	2937	19.1%	17733	2392	15.6%	17398	2057	13.4%	17089	1748	11.4%

表-B.6 土量確認結果（鹿島港2）

鹿島港2(2-1と2-2の合計)

	点群パターン 格子密度	全データ		
		土量 [m ³]	基準に対して	
			増減[m3]	増減率[%]
1	フィルタリング無し	18231	基準	0.0%
2	0.5m3点中央値	19024	793	4.3%
3	1.0m3点中央値	19036	805	4.4%
4	1.0m1点中央値	19037	806	4.4%
5	2.0m1点中央値	19030	799	4.4%
6	0.5m3点最浅値	20599	2368	13.0%
7	1.0m3点最浅値	21157	2926	16.0%
8	1.0m1点最浅値	21438	3207	17.6%
9	2.0m1点最浅値	22099	3868	21.2%
10	平均断面法(受注者)	19567	1,336	7.3%

表-B.7 土量確認結果（酒田港）

酒田港

	点群パターン 格子密度	全データ			1/5間引き			1/10間引き			1/18間引き		
		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して	
			増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]
1	フィルタリング無し	56,454	基準	0.0%	56,822	368	0.7%	56,943	489	0.9%	56,977	523	0.9%
2	0.5m3点中央値	57,285	831	1.5%	56,995	541	1.0%	56,984	530	0.9%	56,981	527	0.9%
3	1.0m3点中央値	57,306	852	1.5%	57,011	557	1.0%	57,010	556	1.0%	56,997	543	1.0%
4	1.0m1点中央値	57,309	855	1.5%	57,006	552	1.0%	57,005	551	1.0%	56,991	537	1.0%
5	2.0m1点中央値	57,305	851	1.5%	57,010	556	1.0%	56,985	531	0.9%	56,958	504	0.9%
6	0.5m3点最浅値	58,939	2,485	4.4%	58,096	1,642	2.9%	57,352	898	1.6%	57,018	564	1.0%
7	1.0m3点最浅値	59,551	3,097	5.5%	58,938	2,484	4.4%	58,438	1,984	3.5%	57,921	1,467	2.6%
8	1.0m1点最浅値	59,804	3,350	5.9%	59,289	2,835	5.0%	58,907	2,453	4.3%	58,449	1,995	3.5%
9	2.0m1点最浅値	60,791	4,337	7.7%	60,255	2,949	6.7%	59,936	3,482	6.2%	59,531	3,077	5.5%

表-B.8 土量確認結果（神戸港）

神戸港

	点群パターン 格子密度	全データ			1/5間引き			1/10間引き			1/18間引き		
		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して		土量 [m ³]	基準に対して	
			増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]		増減[m3]	増減率[%]
1	フィルタリング無し	169,559	基準	0.0%	172,847	3,288	1.9%	173,529	3,970	2.3%	173,519	3,960	2.3%
2	0.5m3点中央値	175,824	6,265	3.7%	173,961	4,402	2.6%	173,692	4,133	2.4%	173,522	3,963	2.3%
3	1.0m3点中央値	175,820	6,261	3.7%	174,164	4,605	2.7%	173,914	4,355	2.6%	173,693	4,134	2.4%
4	1.0m1点中央値	175,837	6,278	3.7%	174,147	4,588	2.7%	173,886	4,327	2.6%	173,725	4,166	2.5%
5	2.0m1点中央値	175,716	6,157	3.6%	174,095	4,536	2.7%	173,802	4,243	2.5%	173,575	4,016	2.4%
6	0.5m3点最浅値	185,467	15,908	9.4%	179,153	9,594	5.7%	174,754	5,195	3.1%	173,536	3,977	2.3%
7	1.0m3点最浅値	189,004	19,445	11.5%	184,239	14,680	8.7%	181,508	11,949	7.0%	178,871	9,312	5.5%
8	1.0m1点最浅値	190,690	21,131	12.5%	186,460	16,901	10.0%	184,173	14,614	8.6%	182,079	12,520	7.4%
9	2.0m1点最浅値	194,444	24,885	14.7%	190,275	20,716	12.2%	188,319	18,760	11.1%	186,557	16,998	10.0%
10	平均断面法(受注者)	185,189	15,630	9.2%									