

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1200

March 2022

ICT浚渫工の生産性向上に向けた 出来形測量・水路測量の作業効率化に関する検討

長田康輝・辰巳大介・坂田憲治

Study on Improvement of Work Efficiency
for Finished Surveys and Hydrographical Surveys in ICT Dredging

OSADA Kouki, TATSUMI Daisuke, SAKATA Kenji

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浚渫工の生産性向上に向けた 出来形測量・水路測量の作業効率化に関する検討

長田 康輝*・辰巳 大介**・坂田 憲治***

要 旨

国土交通省では、平成28年度より生産性革命プロジェクトの一環として、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。

港湾分野においては「ICT浚渫工（港湾）」の取組を実施しており、令和元年度より施工段階においてもICT活用の原則適用を求める本格運用を開始し、今後さらなる生産性の向上が期待される場所である。一方、ICT浚渫工を実施した施工業者に向けたアンケート調査では、ICT導入以前に比べ作業時間が増加しており、中でも出来形測量及び水路測量における成果資料の作成に要する作業時間が大きな割合を占めていることが判明した。

本検討では、ICT浚渫工における出来形測量及び水路測量における提出書類の作成作業において、現状を把握・整理し、ICT浚渫工の効率的な実施に向けて検討を行った。また、ICT浚渫工の生産性向上には、マルチビーム測深におけるノイズ処理の効率化が重要であり、その一方策として注目されているCUBE（Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator）処理の現状と港湾工事への適用性を調べた。

キーワード： ICT浚渫工，出来形測量，水路測量，マルチビーム測深，ノイズ処理，CUBE

*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 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 e-mail: ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

Study on Improvement of Work Efficiency for Finished Surveys and Hydrographical Surveys in ICT Dredging

OSADA Kouki*
TATSUMI Daisuke **
SAKATA Kenji ***

Synopsis

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) is promoting “i-Construction” that drastically improves productivity in all construction processes including surveys, design, construction, maintenance, and renewal as part of the MLIT Productivity Revolution Project underway since fiscal year 2016.

From fiscal year 2019, ICT dredging (harbor construction) has been carried out in full-scale operations that in principle require the application of ICT even at the construction stage. In the future, further improvement in productivity is expected. On the other hand, a questionnaire survey of ICT dredging contractors shows that working time increased compared to before the introduction of ICT dredging. Especially, the working time required to create the achievement documents for finished surveys and hydrographical surveys turned out to occupy a large proportion of the total working time.

This study aims to ascertain in detail the actual situation of the working time required to create the achievement documents for finished surveys and hydrographical surveys in ICT dredging. Also, measures to improve the work efficiency of ICT dredging are examined. Moreover, in order to improve the efficiency of noise processing in multibeam echo sounding in ICT dredging, this study investigates the application of the CUBE (Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator) process to port construction work.

Key Words : ICT Dredging, Finished Survey, Hydrographical Survey, Noise Processing, Multibeam Echo Sounding, CUBE (Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator)

*Technical Official, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM
**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-46pr@gxb.mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
1.1 背景・目的	1
1.2 構成	2
2. 浚渫工事における提出資料の実態調査と生産性向上に向けた方策の検討	2
2.1 ICT 浚渫工の現状と課題	2
2.2 先行研究について	4
2.3 提出資料の実態調査と生産性向上に向けた方策の検討	6
3. 浚渫工事における CUBE 処理を用いたノイズ処理	8
3.1 CUBE 処理の概要	8
3.2 CUBE 計算について	9
3.3 浚渫工事における CUBE 処理の現地実証の方法	9
3.4 浚渫工事における CUBE 処理の現地実証の結果	10
3.5 1 グリッドあたりの測得点数について	15
3.6 CUBE 処理を採用した場合の ICT 浚渫工への影響	17
4. おわりに	20
4.1 浚渫工事における提出資料に着目した改善方策	20
4.2 浚渫工事におけるノイズ処理に着目した改善方策	20
謝辞	20
参考文献	20
付録 A 1 グリッドあたりの測得点数_名古屋港	21
付録 B 1 グリッドあたりの測得点数_荇田港	24
付録 C 仮説水深の信頼度 (名古屋港, 荇田港)	27
付録 D 1 グリッド毎に作られた仮説水深の数 (名古屋港, 荇田港)	29
付録 E 点群データの不確かさ (名古屋港, 荇田港)	31

1. はじめに

1.1 背景・目的

我が国において生産年齢人口が減少することが予想されている中、建設分野において生産性向上は避けられない課題である。国土交通省では、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す新しい取組として i-Construction を進めている。

i-Construction 推進のための第一歩として、「ICT (Information and Communication Technology ; 情報通信技術) 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つのトップランナー施策を設定し、その知見などを踏まえ、ICT の全面的な活用においてすべての建設現場で i-Construction の取組を浸透させることとした。

ICT の全面的な活用 (ICT 土工) は平成 20 年より試行している。情報化施工の試行結果から生産性の向上が見込めたが、これまでの情報化施工では施工段階にのみ ICT を導入していた。そのため全面的な活用を進めるに当たり、監督・検査基準の整備、従来の 2 次元で作成されていた測量・設計成果から ICT 土工に必要な 3 次元測量・設計データを作成することとした基準類を含めた 15 の新基準を整備し、平成 28 年 4 月より直轄事業において導入された¹⁾。

一方、港湾分野では海上や海中での工事が多く、工事の出来形の確認や作業の進捗状況の把握が困難な場合が多い点に加え、波浪、潮流、風による影響が大きく作業日数が限定される点等、陸上工事とは異なる港湾工事特有の課題を抱えている。これらを踏まえた港湾における i-Construction への対応として、ICT 導入に向けた基準類整備等を検討するため、国交省港湾局は「港湾における ICT 導入検討委員会」²⁾ を設置した。国交省では港湾工事における最初の ICT

導入工種を「ICT 浚渫工」として、測量、設計・施工計画、施工、検査、維持管理までの建設プロセス全体に 3 次元データを活用することとした。(図-1.1)

ICT を全面的に導入するための初期の取組として、浚渫工事において 3 次元データを一貫して使用できるよう新たな基準を整備し、浚渫工における試行業務・工事を実施した。試行業務・工事を進める中で施工業者から意見・要望を募り、毎年関連基準を改定し本格運用を目指した。以降は ICT 工種の拡大に向け、既存 ICT から港湾に適用可能な ICT を選定し、「ICT 基礎工・ブロック据付工」、「ICT 本体工」、「ICT 海上地盤改良工」と工種を拡大させ、各々試行工事や施工業者からの意見・要望等により基準類の整備が進み、実施工事件数は年々増加している³⁾。

令和元年 11 月より港湾における建設生産プロセス全体にわたる ICT や BIM/CIM の活用をさらに推進するため、「港湾における i-Construction 推進委員会」³⁾ と改称し、ICT 施工や BIM/CIM 導入に向けて必要なシステムや基準類の検討を行っている。上記に先駆け、令和元年 4 月より直轄工事における ICT 浚渫工の本格運用 (原則適用) が始まったことから、今後港湾施工におけるさらなる生産性の向上が期待されることである。

しかし、2. 1 で述べるように、ICT 浚渫工を実施した施工業者に向けたアンケート調査の結果にて、ICT 導入以前に比べ作業時間が増加していること、中でも ICT 浚渫工における作業時間の内、出来形測量及び水路測量の成果資料の作成に要する作業時間が大きな割合を占めていることが分かった。また、マルチビーム測量により得られた点群データの解析作業の内、ノイズ処理に時間を要していることが判明した。

そこで、本検討は ICT 浚渫工における出来形測量及び水路測量に

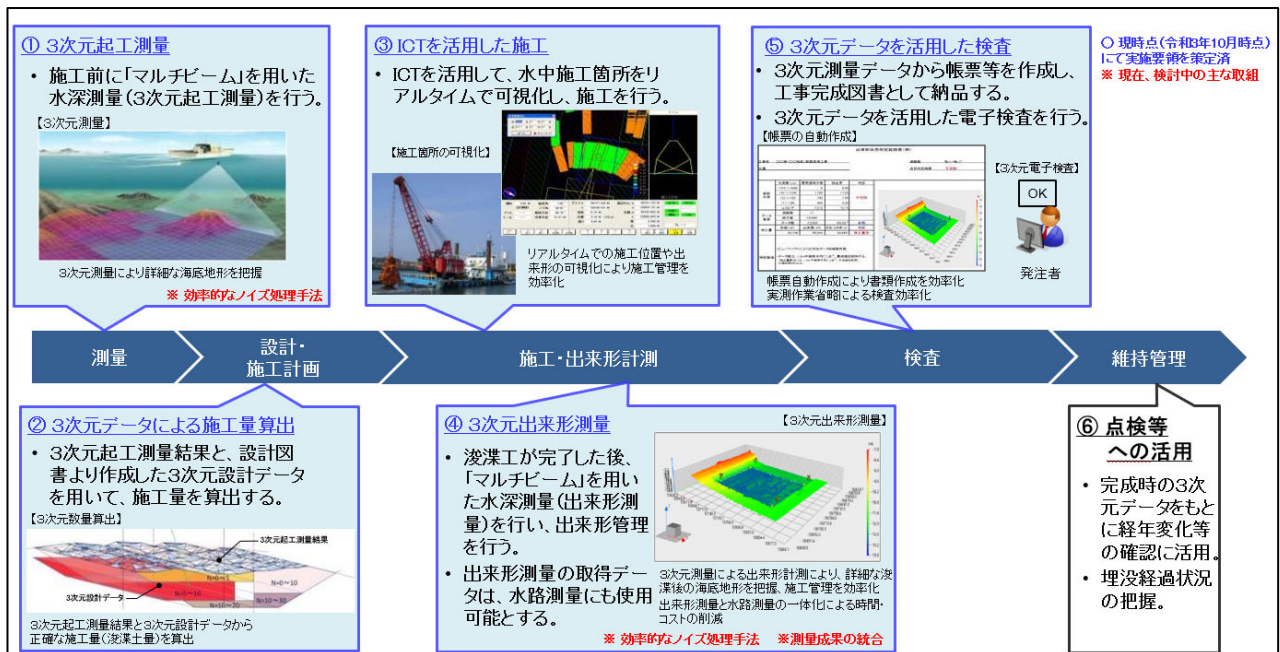


図-1.1 ICT 浚渫工の概要³⁾

おける提出書類の作成作業において、現状を把握・整理しICT 浚渫工の効率的な実施に向けて検討を行うものである。また、浚渫工事の生産性向上の一環として、ノイズ処理の効率化が重要であり、その一方策として CUBE (Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator) 処理が着目されているので、CUBE の現状と港湾工事への適用性を調べた。

1.2 構成

本資料の構成を図-1.2 に示す。第1章では、本検討の背景・目的について記述し、第2章では、ICT 浚渫工事における現状と課題、先行研究について述べた上で、浚渫工事における提出資料の実態調査と生産性向上に向けた方策の検討について記述する。第3章では、CUBE 処理の概要、計算方法について述べた上で、浚渫工事における CUBE 処理の結果及び CUBE 処理を採用した場合の ICT 浚渫工への影響について記述する。第4章では、浚渫工事における提出資料とノイズ処理に着目した改善方策についてまとめる。

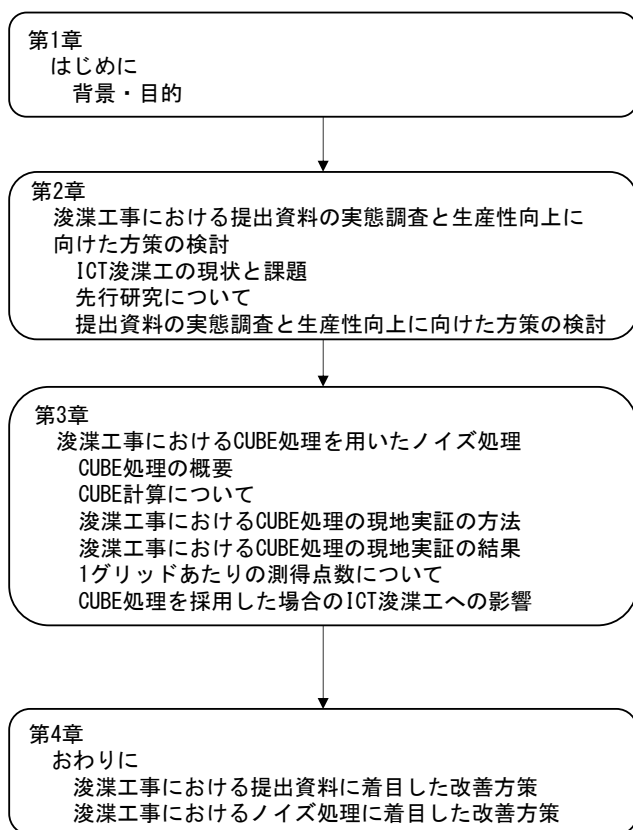


図-1.2 本資料の構成

2. 浚渫工事における提出資料の実態調査と生産性向上に向けた方策の検討

2.1 ICT 浚渫工の現状と課題

従来の浚渫工事における深淺測量ではシングルビーム測深機を用い、音波を1本発信し、最も早く帰ってきた反射波を直下の深さ

として採用されているが、斜め部分の誤差が大きく測定範囲が狭いため広範囲に及ぶ測定には時間を要する測定方法である。一方、近年はマルチビーム測深機を用いた3次元測量による深淺測量が使用されることが多くなってきている。マルチビーム測深機は扇状に音波を発信し、海底で反射した音波を解析することにより一度に広範囲の水深を取得することが出来る。(図-2.1)

ICT 浚渫工は浚渫工事における深淺測量においてマルチビームを用いて3次元データを取得し、設計・施工計画、施工、検査、維持管理までの建設生産プロセス全体において3次元データを活用するものである。これらの実施に当たり標準的な作業方法や測深性能、測深精度等を定めた「マルチビームを用いた深淺測量マニュアル(浚渫工編)」⁴⁾やマルチビームによる出来形測量及び出来形管理算出の方法を規定する「3次元データを用いた出来形管理要領(浚渫工編)」⁵⁾等の基準が整備されている。

ICT 浚渫工は、平成29年度より測量段階のみICTを導入させた試行工事を開始し、令和元年度からは施工部分においてもICTを導入した試行工事が開始された。各種要領・基準類の改定を経て、令和2年度からは浚渫工におけるICTの原則活用を求める本格運用が開始された。ICT対象工事数は年々増加傾向にあり、港湾工事における生産性の向上が期待される(図-2.2)。

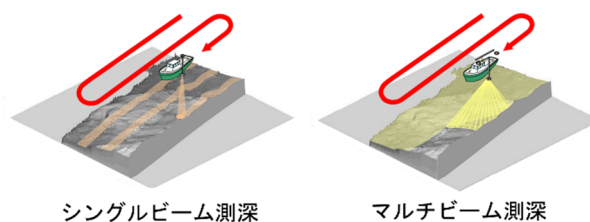
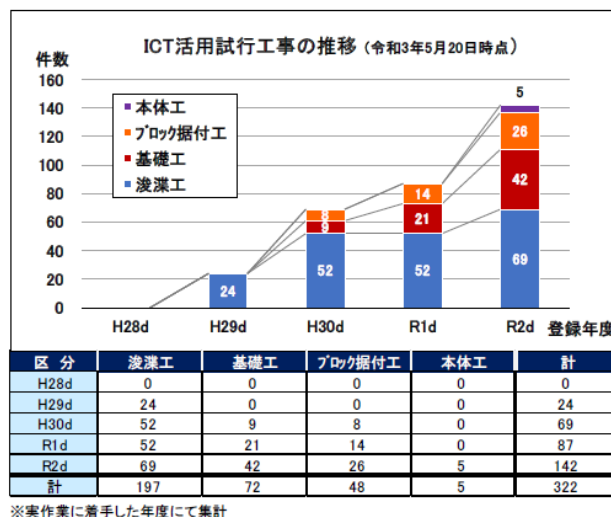


図-2.1 シングルビーム測深とマルチビーム測深⁹⁾



※実作業に着手した年度にて集計

図-2.2 ICT活用工事件数の推移

表-2.1 マルチビームの導入効果についてのアンケート調査項目

アンケート概要	
対象工事	10地域(8地方整備局, 北海道開発局, 沖縄総合事務局)において H30d~R2dに竣工したICT浚渫工事
対象者	ICT浚渫工事の受注者
調査項目	マルチビームの導入効果について 【起工・出来形測量】 従来方式(シングルビーム)との作業効率の比較 ・各作業項目についての定量的比較(増減)および増減理由 ①時間②人口数③費用

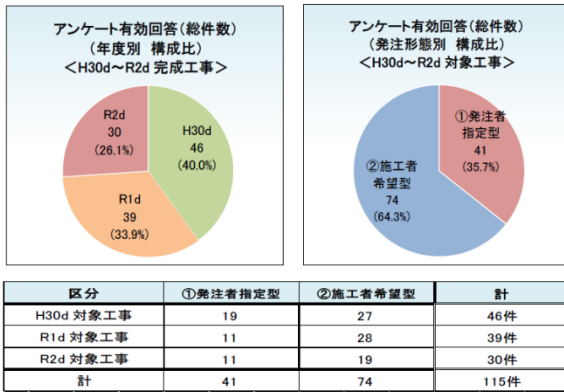


図-2.3 アンケート有効回答数

一方、ICTを活用した場合、従来方式を用いた場合に比べ作業時間が増加傾向にあることがアンケート調査により判明している。アンケート調査はマルチビームの導入効果について平成30年度～令和2年度に竣工した10地域(8地方整備局, 北海道開発局, 沖縄総合事務局)

における直轄浚渫工事において、ICTを活用した案件を対象に、港湾局でとりまとめたものである。調査内容は表-2.1に示す項目にて調査を行った。

アンケート回収数は、図-2.3に示すとおり、平成30年度対象工事46件、令和元年度対象工事39件、令和2年度対象工事30件、3ヶ年計115件である。

図-2.4は1工事当たりの起工・出来形・水路測量にかかる平均作業時間を年度別にグラフに示したものである。起工・出来形・水路測量における作業内容は①測量船へ機材機装、②キャリブレーション(パーチェックを含む)③検測・精度管理、④計測、⑤測量船から機材機装解除、⑥データ解析、⑦3次元設計データの作成、⑧土量計算(3次元設計データ作成を除く)、⑨出来形管理図表の作成、⑩検査・報告用資料の作成(出来形検査)、⑪検査・報告用資料の作成(水路測量)の11段階に分類し、各作業における作業時間を平均表示している。なお、②キャリブレーションとは、測量船にマルチビーム機器を機装する際、水面に対して垂直に取り付けることが難しく角度のずれが精度に大きく影響するため、テスト計測により取付角度を計測し補正を行うものである。

従来方式ICT活用方式における全体の作業時間を比較すると、④計測、⑧土量計算、⑨出来形管理図表の作成において作業時間の減少が見られる。④計測では従来のシングルビーム方式からマルチビーム方式に切り替えたことで、測線間隔の拡大により測線が減少し、作業時間の減少に繋がっていることが分かる。

⑧土量計算については3次元データの取り扱いにより断面図の作成が必要無くなったこと、計算ソフトウェアの普及が減少の要因として挙げられる。

一方、上記以外の作業時間については増加傾向にある。①測量船へ機材機装については従来方式に比べ、設置機器の増加や使用機器の複雑化により作業が増加している。⑥データ解析においては一度

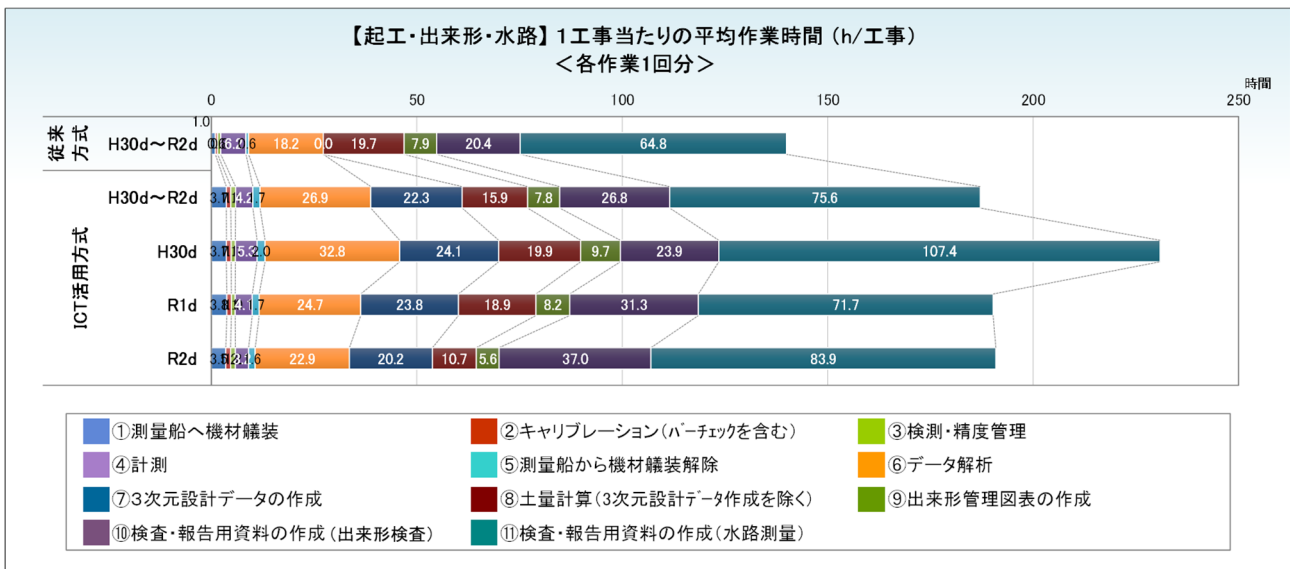


図-2.4 ICT 浚渫工の平均作業時間 (グラフ表示)

に広い範囲を測定するマルチビームの性質上、計測データ量の増加やノイズ処理作業により解析に要する時間が増えている。

⑦3 次元設計データの作成はシングルビームを用いた従来方式では必要のない作業であったが、ICT 活用方式において取得データの 3 次元化作業が必須であり、従来方式に比べ 20 時間以上増加している。また、⑩⑪検査・報告用資料の作成に要する時間の増加が顕著で、令和 2 年度において⑩出来形検査は従来方式の+16.6 時間、⑪水路測量では+19.1 時間であった。増加の要因としてはマルチビームを用いたことで提出を求められる資料が多いことが挙げられる。

また、出来形検査（国（発注者））、水路測量（海上保安庁）に提出する資料の様式や座標系等の設定項目が異なっており、各々提出する資料に併せて資料の作成を行う必要がある。⑩⑪検査・報告用資料に要する作業時間は、全体作業時間の約半数を占めており、ICT 浚渫工の作業時間が増えている大きな要因となっている。

2.2 先行研究について

ICT 浚渫工の現状の課題を踏まえ、村田ら⁶⁾は生産性向上の施策として、シングルビームの常時併用化の解消と港湾局技術企画課及び海上保安庁海洋情報部技術・国際課にて取り決めた「港湾工事に伴う水路測量についての覚書の実施要領」において水路測量における提出資料の効率化について検討した。本研究の本题へ繋がる内容のため以下に述べる。

(1) シングルビームの常時併用化の解消

ICT 浚渫工導入初期段階において、マルチビームによる測深後、精度の裏付けとしてシングルビームが併用されていた。シングルビームはビーム幅が太いため、取得データの補正は少なく、マルチビームの信頼性不足を補う対応として使用されることが多かった。しかし、シングルビームとマルチビームを同時に計測すると互いのビームが干渉する場合があるため、マルチビームの測量後に再度シングルビーム機器を艀装し、計測を行っていた。また、海上保安庁が定める「水路測量業務準則施行細則」⁷⁾にて、マルチビームを用いた場合に原則としてシングルビームを併用することが定められていた。この非効率な状況に対して、村田らはマルチビームを販売する代理店及び測量会社にヒアリングを実施し、シングルビームにより確認出来る範囲はわずかである点やノイズ処理における使用頻度の低さから、海上保安庁に対し ICT 浚渫工における水路測量に限定してシングルビームの併用を求めない運用を可能とする技術的な提案を行った。

令和 2 年 3 月 27 日より「水路測量業務準則施行細則」の改訂⁸⁾に伴い、シングルビームの常時併用を求める文言が削除され、上記の技術的な提案が反映された。マルチビーム測深により異状記録がない場合はマルチビーム測深によるデータのみで成果を報告出来るようになった。また、マルチビーム測深にて異状（突起物等）な記録が検出された場合には、シングルビームによる測定記録または

マルチビーム機器にて得られるウォーターカラム（水柱記録）により確認を行う。これにより異状記録がある場合においてもマルチビーム機器の機能を用いることでシングルビームの使用を必要としない選択が可能となった。（図-2.5）

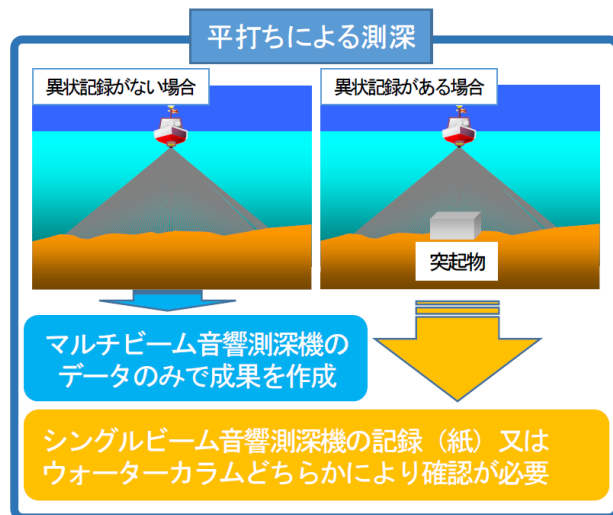


図-2.5 水路測量業務準則改定内容⁸⁾

(2) 水路測量における成果品目の効率化

直轄工事における港湾工事に伴う水路測量の実施に当たっては、国土交通省港湾局技術企画課長、海上保安庁海洋情報部技術・国際課長の連名により定められた「港湾工事に伴う水路測量についての覚書の実施要領」に基づいて水路測量を実施する。これは年度計画予定や実施計画の打合せの方法や時期、実施に当たる測量基準や実施方法等について定めたものである。

水路測量において提出を求められる資料は「水路測量業務準則施行細則」にて定められている。村田らは実際の ICT 浚渫工を実施した施工業者にアンケートを実施し、各浚渫工事における水路測量資料の提出状況について調査した。その結果、工事ごとに提出のある項目、提出されていない項目にばらつきが見られた。これを受け、水路測量資料の提出要否等をまとめた提出書類一覧表を、先に述べた「港湾工事に伴う水路測量についての覚書の実施要領」に添付することで、水路測量資料の統一的な周知が可能となるのではないかとする趣旨の技術的な提案を行った。また、一覧表備考欄にアンケート調査により得られた情報を元に、作成が必要となる条件、及び省略が可能となる場合等について整理した。表-2.2 に一覧表の抜粋を示す。

表-2.2 水路測量提出書類一覧表（提案版より抜粋）

（別表）水路測量 提出書類一覧表（水路測量業務準則施行細則 別表第4より抜粋）

名 称	備 考
測量成果	
デジタル測量成果	
水路測量標等記事	水路測量標(恒久標識)を設置した場合、国土地理院水準点又はこれに準ずる水準点との高低差の測定を行った場合に作成
験潮所基準測定成果	常設験潮所の新設、高さが変わった場合、臨時験潮所の設置、使用する場合等に作成
基準面決定簿	前回作成時から基準面決定簿の内容に変更がない場合等は省略可能
測量報告書	
経緯度表	灯台や煙突等の物標の測量を実施した場合等に作成する資料であり、記載内容については原点計算簿で代替可能のため不要
メタ情報ファイル	測量業者側で全ての情報を得ることが出来ず、保安部で作成されている場合が多いため不要
測量資料	
原点図	
岸測図	岸線測量を実施した場合に作成
測量説明図	測量成果を海図に反映する際の注意事項等で測量報告書では表現できないものがある場合に作成
水深原稿図	
陸部資料図	航空レーザー測量を実施した場合に作成
拡大航跡図	
拡大水深原稿図	
底質採取地点図	底質採取を実施した場合に作成
浮泥層調査図	浮泥層調査を実施した場合に作成
サンドウェーブ分布図	サンドウェーブが存在した場合に作成
原点測角簿	原点測量を実施した場合に作成
距離観測簿	原点測量、高低測量、岸線・地形測量でトータルステーションを使用した場合に作成
原点計算簿	原点測量または岸線測量を実施した場合等に作成
高低計算簿	高低測量を実施した場合に作成
GNSS 計算簿	GNSS 測量機を使用した場合に作成
岸測簿	海岸線の測量を記帳式(GNSS 測量を含む)により実施する岸線測量を実施した場合に作成
測深簿	
測深誘導簿	
水準測量簿	水準測量を実施した場合に作成

※網掛け：調査会社へのアンケート・提出状況を踏まえた運用変更の提案箇所

2.3 提出資料の実態調査と生産性向上に向けた方策の検討

(1) 先行研究を踏まえた検討の方針

村田らが検討した水路測量における成果品目の効率化については、現在海上保安庁と技術的に調整中である。そのため、現状は「港湾工事に伴う水路測量についての覚書の実施要領」に反映するための行政的な調整には至っていない。

これを受け、ICT 浚渫工における成果品目に焦点を絞り、効率化が求められる項目について検討を行った。

(2) ICT 浚渫工における成果品目

ICT 浚渫工の実施にあたり、港湾局及び海上保安庁にそれぞれ提出を求められる成果品目が異なっている。ICT 浚渫工は「マルチビームを用いた深浅測量マニュアル（浚渫工編）」⁴⁾やマルチビームによる出来形測量及び出来形管理算出の方法を規定する「3次元データを用いた出来型管理要領（浚渫工編）」⁵⁾等の基準類に従って深浅測量を実施しており、ICT 浚渫工において提出が求められる資料についても上記基準類に基づき作成される。提出が求められる18品目の一覧を表-2.3に示す。

各資料が作成される手順として ICT 浚渫工における出来形管理のフローチャートを図-2.6に示す。工事受注者は、まず適用区域や測線計画、使用機器等を決定し、施工計画書を作成する。また、発注者から貸与された設計図書（平面図、縦横段図等）や数量計算書等を元に3次元設計データを作成する。起工測量ではマルチビームを用いて1.0m平面格子に3点以上の取得点密度で計測を行う。計測データから1.0m平面格子内の中央値1点を抽出して起工測量の数量計測データを作成する。先に作成した3次元設計データと起工測量の数量計測データを比較の上、現況水深と異なる場合は3次元設計データの作成に反映される。3次元設計データの間違ひは出来

形管理に致命的な影響を与えることになるため、監督職員との協議を経て慎重に作成されることになる。

施工後、マルチビームによる出来形測量を実施し、計測データから3次元の出来形評価用点群データを作成する。起工測量と同様1.0m平面格子に3点以上の取得点密度で計測を行い、1.0m平面格子の最深値を抽出して出来形測量の数量計測データを作成する。3次元設計データと出来形測量の数量計測データを用いて出来形管理資料を作成し、監督職員に提出する。一方、土量計算に使用する点群データは1.0m平面格子の中央値を抽出することとなっており、複数の点群データが必要となっている。

表-2.3 ICT 浚渫工提出資料

ICT 浚渫工資料					
No	成果品目	No	成果品目	No	成果品目
1	施工計画書	7	GNSS 精度確認結果	13	マルチビームによる出来形評価用点群データ
2	3次元設計データ	8	マルチビーム測深システム点検簿	14	マルチビームによる起工測量の計測点群データ
3	3次元設計データチェックシート	9	水中音速度測定簿	15	マルチビームによる起工測量の数量計算用点群データ
4	数量総括表および土量計算箇所表示図	10	検潮記録	16	マルチビームによる起工測量の数量計測データ
5	出来形管理資料	11	検測(測深精度)管理表	17	マルチビームによる出来形測量の数量計測データ
6	深浅測量精度管理チェックシート	12	マルチビームによる出来形測量の計測点群データ	18	水路測量資料

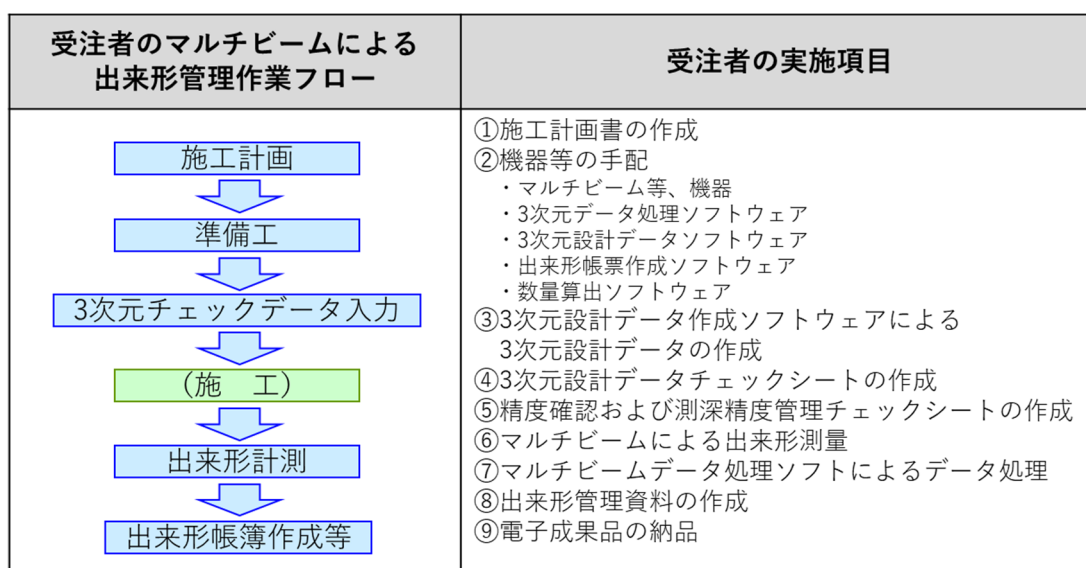


図-2.6 ICT 浚渫工における出来形管理の主な手順

(3) 各成果品作成に係る時間の内訳

ICT 浚渫工における成果品目の効率化に向け、特に作成時間を要している品目について調査を行い、時間を要している要因から効率化が見込まれる内容について検討を行う。令和3年度に契約されたICT 浚渫工事において、検査・報告用資料の作成に特に時間を要していた施工業者4社にアンケート調査を実施した。アンケートは表-2.4に示す内容について調査を行った。

成果品目ごとに要する作成時間についてアンケート結果を表-2.5に示す。なお、ICT 浚渫工の成果品目の水路測量資料(表-2.3に示すNo.18)は、海上保安庁へ提出する水路測量成果資料一式を発注者に対しても提出してもらうものであり、ICT 浚渫工に特有のものではないため、今回のアンケート調査に含めていない。代わりに、4社共通して検査時に用いる3Dビューアーの作成及び時間について回答いただいたため、表-2.5には3DビューアーをNo.18としてまとめている。

表-2.4 ICT 浚渫工における成果品目に関するアンケート項目

アンケート概要	
対象工事	令和3年度に実施されたICT浚渫工事
対象者	ICT浚渫工の受注者(A~D社)
調査項目	成果品目の作成労力について【ICT浚渫工】 ・作成に時間、手間を要する項目及びその理由 ・成果品目ごとに要する作成時間と提出状況

各社のアンケート回答概要は以下の通りである。

a) A社における作成時間の内訳と理由について

・ICT 浚渫工成果品について

作成時間総計：29時間

提出状況：18/18品目(3Dビューアーを含む)

作成時間を要している資料は、3次元設計データ、数量総括表および土量計算箇所表示図である。3次元設計データは、発注者から貸与された設計図書(平面図、縦断図等)や数量計算書等を元に、出来形測量により取得した点群データとの比較が可能な3次元設計データの作成を行う。土質の変化点が座標で明示されておらず、数量計算書の根拠資料等から位置を特定する作業が必要となり時間を要した。数量総括表及び土量計算箇所表示図は、土質区分ごとに座標値や根拠資料を用意する必要があり手間が掛かった。

b) B社における作成時間の内訳と理由について

・ICT 浚渫工成果品について

作成時間総計：149時間

提出状況：18/18品目(3Dビューアーを含む)

作成時間を要している資料は、A社同様3次元設計データ、数量総括表及び土量計算箇所表示図である。数量総括表及び土量計算箇所表示図は、3次元設計データを用いて浚渫土量を算出する際に作成される。時間を要したのは、起工測量後、発注土量の数字を合わせるため発注者の指示により、3次元設計データの作成、数量計算を繰り返し行ったことが要因であった。

表-2.5 ICT 浚渫工の成果品目毎に要する作成時間(詳細表)

<ICT 浚渫工(出来形測量)>		A社		B社		C社		D社	
No	成果品目	作成時間	割合	作成時間	割合	作成時間	割合	作成時間	割合
全体		29	100%	149	100%	55	100.0%	122	100.0%
1	施工計画書	2	6.9%	3	2.0%	8	14.5%	4	3.3%
2	3次元設計データ	8	27.6%	40	26.8%	16	29.1%	16	13.1%
3	3次元設計データチェックシート	0.5	1.7%	1	0.7%	16	29.1%	4	3.3%
4	数量総括表および土量計算箇所表示図	8	27.6%	80	53.7%	1	1.8%	8	6.6%
5	出来形管理資料	1	3.4%	8	5.4%	1	1.8%	8	6.6%
6	深淺測量精度管理チェックシート	1	3.4%	1	0.7%	4	7.3%	4	3.3%
7	GNSS 精度確認結果	1	3.4%	1	0.7%	1	1.8%	4	3.3%
8	マルチビーム測深システム点検簿	1	3.4%	1	0.7%	2	3.6%	4	3.3%
9	水中音速度測定簿	1	3.4%	1	0.7%	1	1.8%	4	3.3%
10	検潮記録	1	3.4%	1	0.7%	1	1.8%	4	3.3%
11	検測(測深精度)管理表	1	3.4%	5	3.4%	4	7.3%	4	3.3%
12	マルチビームによる出来形測量の計測点群データ	0.5	1.7%	1	0.7%	ソフトウェアにより 自動作成 (0時間)		30	24.6%
13	マルチビームによる出来形評価用点群データ	0.5	1.7%	1	0.7%			※12と共有	—
14	マルチビームによる起工測量の計測点群データ	0.5	1.7%	1	0.7%			24	19.7%
15	マルチビームによる起工測量の数量計算用点群データ	0.5	1.7%	1	0.7%			※14と共有	—
16	マルチビームによる起工測量の数量計測データ	0.5	1.7%	1	0.7%			※14と共有	—
17	マルチビームによる出来形測量の数量計測データ	0.5	1.7%	1	0.7%			※12と共有	—
18	3Dビューアー(検査時に使用)	0.5	1.7%	1	0.7%			4	3.3%

c) C社における作成時間の内訳と理由について

・ICT 浚渫工成果品について

作成時間総計：55 時間

提出状況：18/18 品目 (3D ビューアー含む)

時間を要している資料は、3次元設計データ、3次元設計データチェックシートである。両資料とも3次元設計データの作成において関連する資料であり、設計図書、照査資料の確認・作成に時間を要していた。一方、No.12～No.17の点群データについてはソフトウェアにより自動生成されるため、作成時間は0であった。

d) D社における作成時間の内訳と理由について

・ICT 浚渫工成果品について

作成時間総計：122 時間

提出状況：18/18 品目 (3D ビューアー含む)

時間を要している資料は、3次元設計データ及びNo.12～17の点群データ関連の資料一式である。点群データ関連資料一式は、マルチビーム測量において得られた点群データより、ノイズ処理等のデータ解析を経て、土量計算・出来形検査に用いるための1.0m平面格子の中央値・最浅値の抽出作業を行い、これら一連の作業において使用した点群データ一式を指す。出来形検査に用いる点群データにするまでのノイズ処理等の解析に時間を要した。

(4) 効率化が見込まれる項目について

時間を要している資料については各社共通している項目もあるものの、各案件、受注者ごとに時間を要した理由が異なることから一様に効率化が見込める方策を検討することは困難である。

全社を通して特に時間を要していた資料は、3次元設計データと数量計算総括表および土量計算箇所表示図であった。また、D社においてはマルチビーム測量による点群データ一式について、特徴的に時間を要していた。これら項目は図-2.4における⑥データ解析、⑦3次元設計データの作成、⑧土量計算の各作業時間を含んだものであることがヒアリングにより判明した。このことから報告資料の作成時間は ICT 浚渫工における各種作業時間と切り離せない項目であるといえる。以上より、D社において時間を要した理由として挙げられる⑥データ解析におけるノイズ処理作業に着目し、効率化が期待できる項目について検討を行うこととした。

3. 浚渫工事における CUBE 処理を用いたノイズ処理

3.1 CUBE 処理の概要

一回の測定で多数の点群データが取得されるマルチビームでは、高密度でデータが取得されるため海底面の状況を詳細に把握出来る。一方、従来のシングルビームに比べデータ量の増加に伴い、処理時間が大幅に増加している。処理時間に対し機器の性能が向上するとともに増加する傾向にあり、効率的な処理方法を検討する必要がある。効率的な処理に向けての課題として、マルチビームデータの大容量化、客観的なノイズ判断、低品質データの除外などが挙げられる。

特にマルチビームデータの大容量化はノイズの相対的な増加だけでなく、異物とノイズの判断をより難しくしている。また、従来のノイズ判断は熟練作業員により手作業で行われており、データの大容量化に伴い、作業員における負担の増加及びそれに伴う作業時間の増加が顕著である。そのため、マルチビーム測深機を用いた水深測量において、データ処理の効率化は必要不可欠である。

データ処理効率化の解決策の一つとして CUBE 処理が挙げられる。CUBE (Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator)⁹⁾ はマルチビームデータを迅速かつ正確に処理するために開発されたアルゴリズムである。このアルゴリズムを用いた CUBE 処理は客観的なノイズ判断として取得データの品質を根拠としており、測得時に発生する様々な誤差発生要素(不確かさ)を数値化し、計算処理を行うことで確からしい海底面を算出することができる。図-3.1に示すとおり、グリッドごとに得られた測深点から通常一つの仮説水深が得られ、これが CUBE 水深として採用される。¹⁰⁾

一方、グリッド内において水深が大きく異なる測深点が多ければ、複数の仮説水深が得られることになる。この場合、グリッド内の測深点数や周辺グリッドの仮説水深等から最も有力な仮説水深を CUBE 水深として自動選択し、確からしい海底地形を表すことが出来る。

従来のノイズ処理では、明らかに浅い水深点を除去するフィルター機能や水深点から平面を推定し、閾値以上の場合にノイズと見なし除去するプログラムにより目立ったノイズを除去した後、熟練作業員による手作業でのノイズ処理を行っている。CUBE 処理においても、仕上げ作業として熟練作業員による目視判断等が必要となるものの、従来方式と比べノイズ処理に掛かる時間の削減が見込まれる。アメリカ・カナダ等の水路測量技術の先進国においては CUBE を用いた水路測量が既に確立されており、日本においても海上保安庁海洋情報部研究報告にて、水路測量成果における CUBE の適用性について述べている。¹⁰⁾

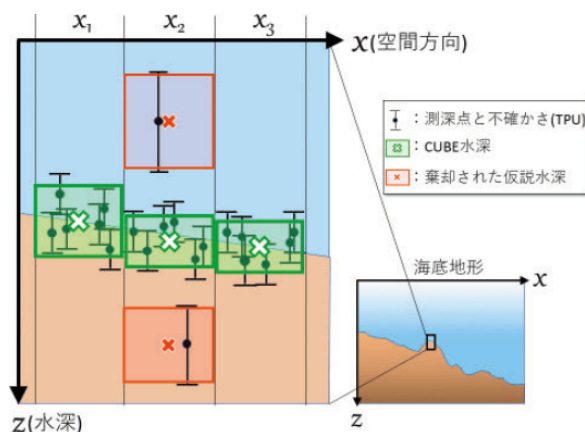


図-3.1 CUBE 仮説水深と曖昧さ除去¹⁰⁾

3.2 CUBE 計算について

CUBE 水深の計算に用いられる不確かさ (Uncertainty) とは各測深点の精度評価の指標である総伝播不確かさ TPU (Total Propagated Uncertainty) のことである。TPU は測深誤差の期待値の推定量で、ソナー等機器類の測深精度や潮位の観測精度等、様々な誤差要因が考慮された鉛直成分 σ_v (TVU)、水平成分 σ_h (THU) から構成される¹⁰。式-1¹⁰により、TPU からあるグリッドに対する各測深点数の伝播不確かさを求めることで、CUBE 水深は計算される。式-1 の hes (horizontal error scalar)、de (distance exponent) はそれぞれパラメータで、CUBE アルゴリズムで当初用いられるデフォルト値で hes=2.95、de=2.0 を本検証においても用いる。

従来マルチビーム計測において、ビームの直下部分に比べデータの品質が低下する傾向にあるビームの斜め部分のデータが最浅選択により選ばれており、実際より浅い水深として採用されていたケースが見受けられた¹⁰。一方、CUBE 水深は TPU に基づく重み関数を用いた統計処理により、高品質なビーム直下のデータが優先的に採用されることになる。(図-3.2)

一方、ノイズが多く低品質なマルチビームデータを取得した場合、統計処理が有効に機能せず、CUBE 処理後の仕上げ作業において判断すべき異状事項が増えてしまい、結果としてノイズ処理に掛かる時間が増加することに繋がる。このことから CUBE 処理を用いる場合にはノイズの少ない高品質なマルチビーム測深データを取得する必要がある。

以上より ICT 浚渫工における水路測量において、CUBE 処理の適切な使用にあたり、マルチビーム測深の各種条件の違いによる CUBE 処理基準の素案に対する影響について検討することとした。

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

(式-1)

- σ_p : あるグリッドに対する各測深点の伝播不確かさ
- σ_v : 総伝播不確かさ鉛直成分 (TVU)
- σ_h : 総伝播不確かさ水平成分 (THU)
- dist : グリッド格子点から各測深点の距離 (m)
- hes (horizontal error scalar) : パラメータ
- de (distance exponent) : パラメータ
- node_spacing : グリッドサイズ (m)

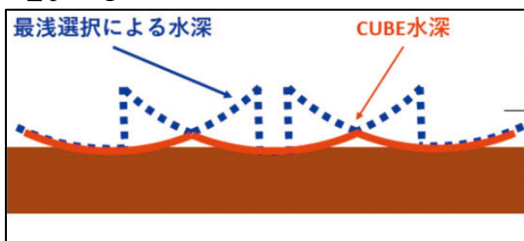


図-3.2 従来方式と CUBE 水深の比較¹⁰

3.3 浚渫工事における CUBE 処理の現地実証の方法

CUBE 処理は、計測機器の能力を含め様々な要素を数値化して入力することにより、測得データの品質を評価している。実際の現地計測において各種条件 (スワ幅、ラップ率) の違いが測定水深や測得点数にどのような影響を与えるかについて検討を行った。

現地実証として、名古屋港金城ふ頭北に位置する庄内川泊地 (図-3.3) 及び荇田港本港地区における航路泊地 (図-3.4) の2地点においてマルチビーム計測を行った。計測に用いたマルチビーム測深機の性能 (1 ビームあたりに得られる測点数) は、名古屋港で 512 点、荇田港で 216 点であった。

なお CUBE 処理の実施にあたり先述した不確かさの算出のため、表-3.1 に示す項目について事前に調査する必要がある。これら項目は CUBE 処理を行うソフトウェアに船舶の大きさや機器の精度等の数値を直接入力する他、入力情報により計算に用いられる数値が算出されるものがある。



図-3.3 計測箇所 (名古屋港庄内川泊地)

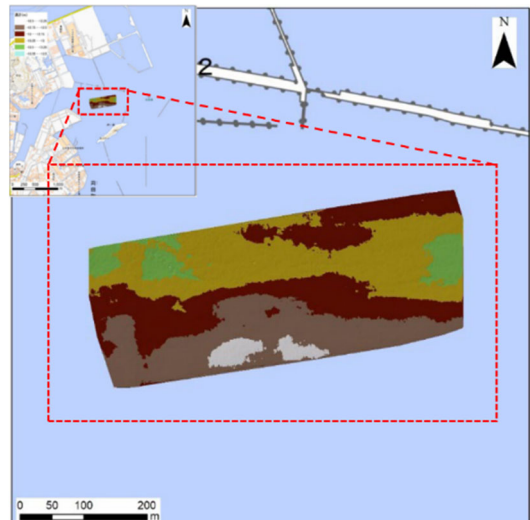


図-3.4 計測箇所 (荇田港航路泊地)

表-3.1 事前調査が必要な主なデータ

船舶形状データ (長さ, 幅, 高さ, 重心位置等)	動揺センサー (性能, 精度)
	各計測機器の時間誤差
船舶重心位置からの 艀装状況	マルチビーム測深機 (性能, 精度)
動揺計測機器と 測深機の位置関係	測位機 (性能精度)
測深機と測位機の 位置関係	その他補正機器 (性能, 精度)

表-3.2 計測条件 (9 パターン)

計測条件		備考
スワス幅	ラップ率	
90°	20%	一般海域での運用基準
	60%	
	100%	水路測量で推奨
120°	20%	一般海域での運用基準
	60%	
	100%	水路測量で一部可 (機器による)
130°	20%	
	60%	
	100%	

表-3.3 CUBE 処理基準の素案 (海上保安庁検討段階)

グリッドサイズ	0.25m × 0.25m
1グリッドあたりの 測得点数	5点以上 (達成率95%)

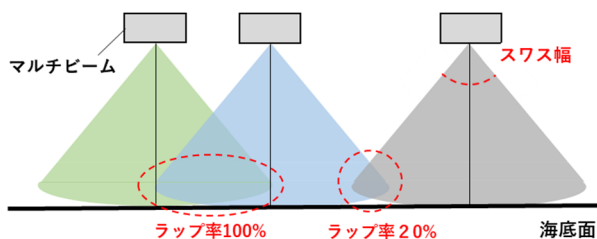


図-3.5 ラップ率とスワス幅のイメージ

マルチビーム測深における計測条件として設定される、スワス幅、ラップ率のイメージを図-3.5 に示す。スワス幅はビームの照射角度で、角度が広いほど一度に測深できる範囲が大きくなるが、取得できる点の密度が低くなる。ラップ率は、海底面を明確に捕捉するため、隣接測線に重複して計測を行う度合いを指す。ラップ率100%では隣接測線の片側ビーム幅に完全に重なるように計測を行う。

ICT 浚渫工におけるマルチビームを用いた深浅測量を実施する場合の作業方法等を定めた「マルチビームを用いた深浅測量マニュアル (浚渫工編) (令和3年4月改訂版)」では、取得点密度3点以上/1.0m 平面格子 (達成率99%以上) を要する測深の場合、スワス幅を90° ~120° に設定することとしている。また、「海洋調査技術マニュアルー深浅測量ー」では、一般海域での運用基準として、航路、泊地、錨地、岸壁およびその付近においては有効測深線幅の20%を重複させることが一般的とし、岩礁、魚礁、沈船等の海底障害物が存在する海域もしくはその存在が想定される海域では片側のビーム幅100%以上の重複率を推奨している。

以上より、スワス幅は「マルチビームを用いた深浅測量マニュアル (浚渫工編) (令和3年4月改訂版)」にて定めている上下限値の90°、120°の他、より広い範囲を測定した場合の影響を検証するため130°についても検証した。一方、ラップ率については一般海域で推奨されている20%の他、岩礁や沈没船等の海底障害物が存在するまたは存在が想定される海域で推奨されている100%、及び計測条件の影響の確認のため中間値の60%について各スワス幅の条件と組み合わせ9パターンについて検証を行った (表-3.2)。

また、海上保安庁へのヒアリングにおいて得られた CUBE 処理を用いた場合の検討段階の処理基準の素案を表-3.3 に示す。なお、表-3.3 におけるグリッドサイズは水深0-10mの海域において用いるが、CUBE 処理の効率化と精度向上のため、水深10m以上の海域である荇田港の測量結果においても表-3.3 の CUBE 処理基準の素案を用いた。

3.4 浚渫工事における CUBE 処理の現地実証の結果

名古屋港及び荇田港において計測したマルチビームデータを用いて CUBE 処理を行った。CUBE 水深の計算においてグリッドサイズは表-3.3 に示した通り0.25m、各パラメータ (hes, de) はそれぞれ hes=2.95、de=2.0 を使用した。

得られた CUBE 水深を地形段彩図に示す。本図は色彩の違いにより水深の差異を表現しており、青色に近くなるにつれて水深が深いことを示している。また、黒い線は測量船の航跡を表している。

(1) 名古屋港における CUBE 水深について

名古屋港計測において得られた CUBE 水深地形段彩図を図-3.6 ~3.14 に示す。名古屋港における地形段彩図には、海底面に浚渫工事の掘削痕と思われる形状が現れている。この掘削痕を含む海底形状は、スワス幅が狭くラップ率が高いほどはっきり表示される傾向にあった。施工域の両脇には法面が表示されており、いずれも施工域に比べ浅くなっている。

オレンジの丸で表示した箇所は空白域 (未測域) を表している。スワス幅90°、ラップ率20% (図-3.6) においては空白域が目立つ。浅所ではマルチビームの照射面積が狭くなり、ラップ率が低い場合には、データが得られなかった箇所が空白域として表示されて

いるためである。さらに、ラップ率20% (図-3.6)、60% (図-3.9)、100% (図-3.12) を比較すると、ラップ率が高いほど空白域が狭くなる傾向にあることが分かる。

スワス幅 130° , ラップ率 20% (図-3.8) においても同様に浅所における空白域が表示されている他、ラップ率 20% (図-3.8)、60% (図-3.11)、100% (図-3.14) では共通して図上に空白域が表示されている。これらは先述した浅所由来の空白域とは異なり、データ取得範囲の外縁部でラップしない箇所であることに加え、マルチビームの品質が低下する斜め部分のデータであるため、空白域が発生したと考えられる。

また、赤丸で表示した箇所はノイズと思われる記録が残っている範囲を表している。赤丸はデータ取得範囲の外縁部でありラップしていない箇所に多く見られ、このような位置では地形の凹凸の影響もあるため、ノイズが残っていると考えられる。



図-3.6 地形段彩図 (名古屋港：スワス幅 90° ラップ率 20%)

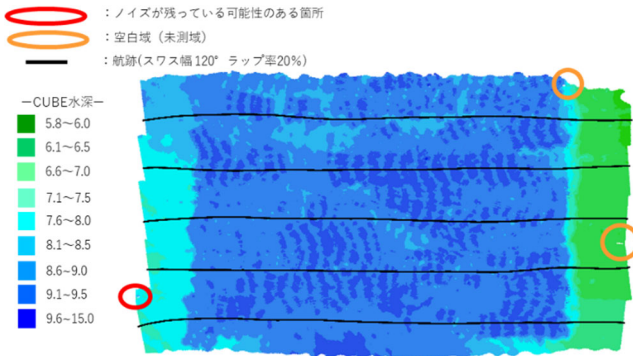


図-3.7 地形段彩図 (名古屋港：スワス幅 120° ラップ率 20%)

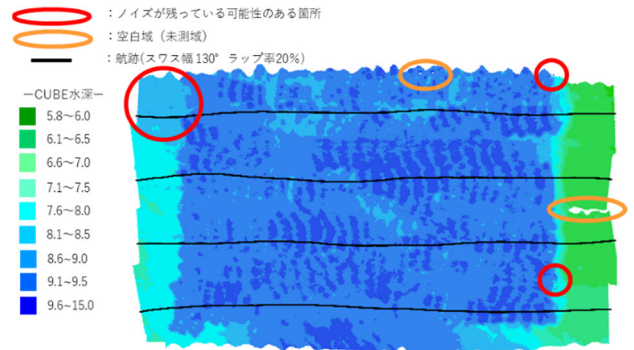


図-3.8 地形段彩図 (名古屋港：スワス幅 130° ラップ率 20%)



図-3.9 地形段彩図 (名古屋港：スワス幅 90° ラップ率 60%)

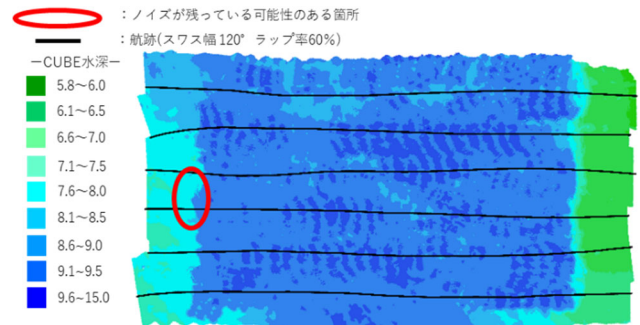


図-3.10 地形段彩図 (名古屋港：スワス幅 120° ラップ率 60%)

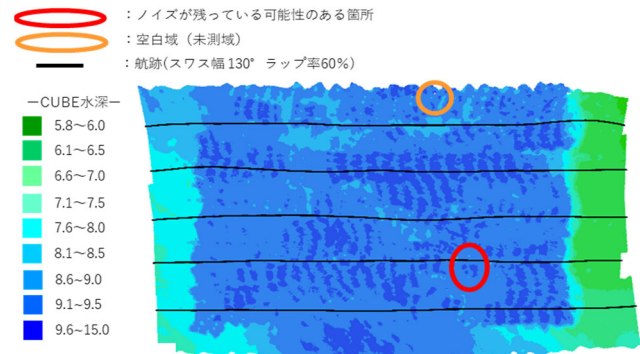


図-3.11 地形段彩図 (名古屋港：スワス幅 130° ラップ率 60%)

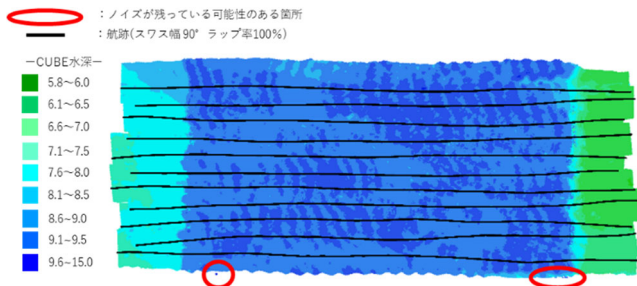


図-3.12 地形段彩図(名古屋港:スワ幅90° ラップ率100%)

と、濃い青色で表示されていることから、実際に周辺地形より深く
 なっている箇所が存在する可能性がある。

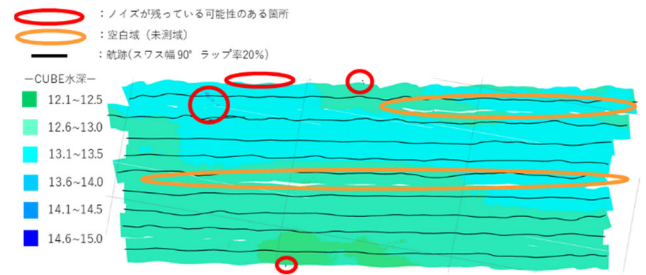


図-3.15 地形段彩図(荇田港:スワ幅90° ラップ率20%)

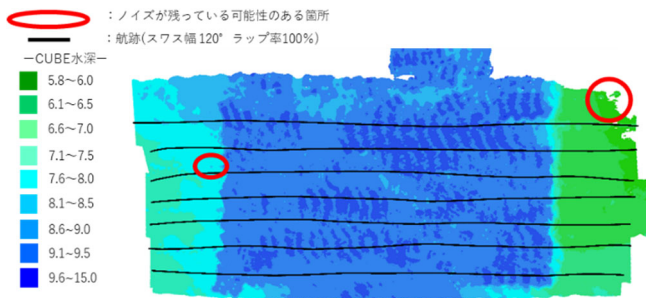


図-3.13 地形段彩図

(名古屋港:スワ幅120° ラップ率100%)

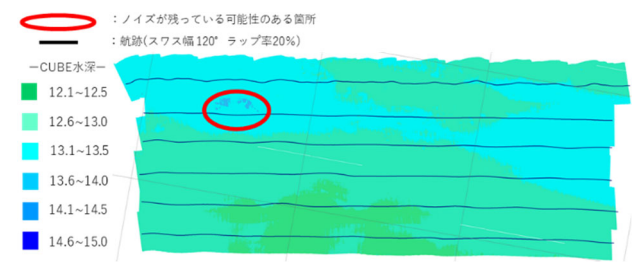


図-3.16 地形段彩図(荇田港:スワ幅120° ラップ率20%)

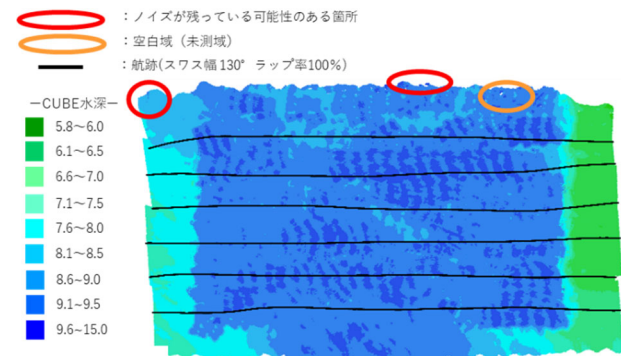


図-3.14 地形段彩図

(名古屋港:スワ幅130° ラップ率100%)

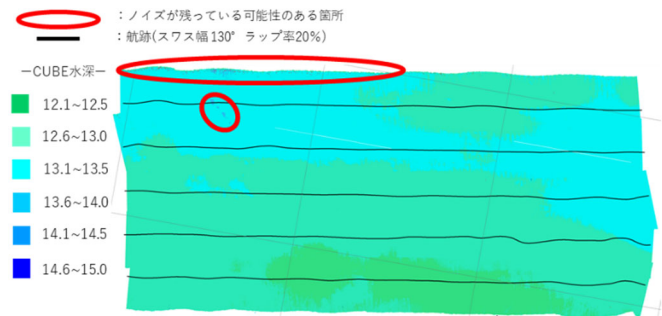


図-3.17 地形段彩図(荇田港:スワ幅130° ラップ率20%)

(2) 荇田港における CUBE 水深について

荇田港計測において得られた CUBE 水深地形段彩図を図-3.15~
 3.23 に示す。地形段彩図の上半分の位置には、水色(水深13.1~
 13.5m)で示される、周辺に比べて深い箇所が左右に伸びているが
 スワ幅やラップ率を変えても計測された地形に大きな違いは見
 られなかった。オレンジの丸で示す各未測域は、図-3.15 に示すス
 ワ幅90°、ラップ率20%の計測条件のみで確認された。

一方、赤色の丸で示すノイズが残っている可能性のある箇所は、
 図の外縁部に多く見られた。スワ幅130°、ラップ率20%(図-
 3.17)、60%(図-3.20)、100%(図-3.23)では図上にノイズと思わ
 れる記録が多く残っており、ラップ率に関わらず現れている。

また、赤丸は図左上の内部にも確認された。形はまばらであるが、
 スワ幅、ラップ率に関わらず共通して図左上に表示されているこ

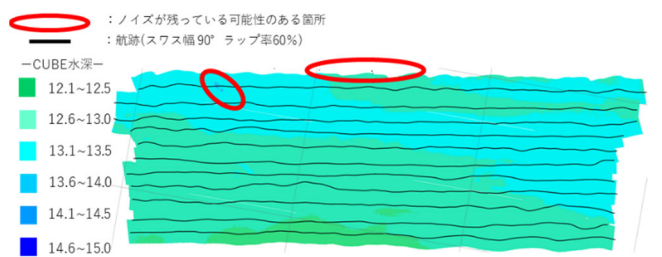


図-3.18 地形段彩図(荇田港:スワ幅90° ラップ率60%)

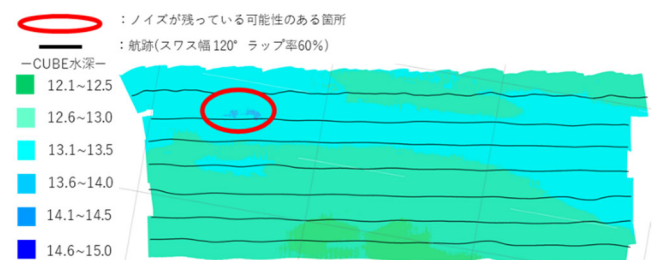


図-3.19 地形段彩図(荇田港:スワ幅120° ラップ率60%)



図-3.20 地形段彩図 (荻田港：スワ幅130° ラップ率60%)

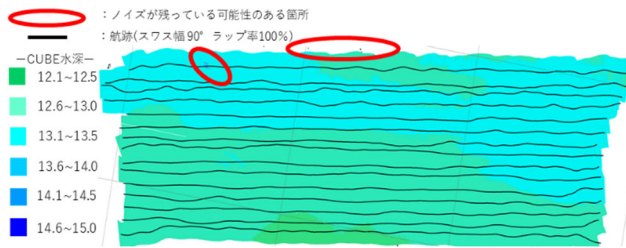


図-3.21 地形段彩図 (荻田港：スワ幅90° ラップ率100%)

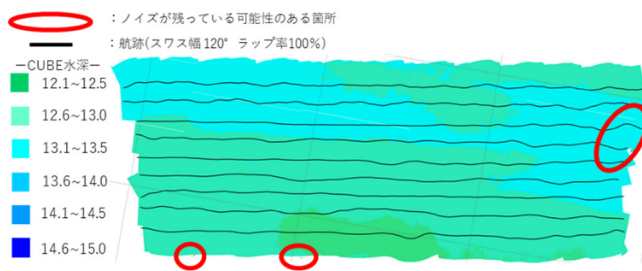


図-3.22 地形段彩図 (荻田港：スワ幅120° ラップ率100%)

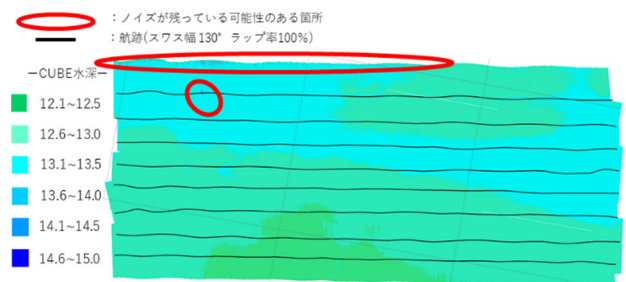


図-3.23 地形段彩図 (荻田港：スワ幅130° ラップ率100%)

(3) 従来ノイズ処理方法とCUBE処理で得られる水深の比較

マルチビーム測深機の特長として、斜めに照射されるビームは、直下に照射されるビームに比べて、海底面までの距離が遠くなり、相対的に斜めデータの品質が低下することが知られている。米国NOAA沿岸測量部では、マルチビーム測深の全測深点から選択された最浅値には、相対的に低品質となる斜めデータが優先的に採用されていることが報告されている。¹⁰⁾ これは高品質の直下データが上書きされて表示されている箇所が含まれることを示し、本来より浅い測深データが優先されてしまう懸念がある。

上記内容を受け、本検証において、同一の測量区域における従来のノイズ処理方法による水深データとCUBE処理を行った水深データを比較した。図-3.24~3.25は名古屋港、荻田港における同一の測量区域において、従来方法により取得したマルチビームデータに対する、CUBE処理したデータの最深値における水深の差分を表示したものである。なお、従来方式においては1点/1m平面格子から抽出した最浅値を用いたが、CUBE水深においては従来方式の最浅値との比較のため、本項目に限って1mグリッドでCUBE処理を行った結果を用いて比較している。

青く表示されている部分は従来方式よりCUBE処理データの方が深い水深値を得たことを示している。図-3.24は、スワ幅120°、ラップ率100%における水深の差分を表示しているが、従来方式に比べると、全体的にCUBE処理データが深い水深値を得られており、CUBE水深が平均0.1m深い結果となった。本結果においても米国NOAA沿岸測量部¹⁰⁾と同様に、マルチビームの全測深点データの内、低品質で浅く表示されやすいビーム斜め部分のデータが高品質な直下データに比べ優先的に採用される傾向があると考えられる。一方、荻田港における検証結果(図-3.25)では、一部従来方式のデータが深く表示された箇所があるものの、全体的にCUBE処理データと比べ水深変化が見られず、CUBE水深が平均0.02m浅い結果となった。

本比較では従来方式との比較のため、1mグリッドでCUBE処理を行った結果を用いた。CUBE処理基準素案に合わせた0.25mグリッドのCUBE水深と1mグリッドの従来手法の水深をどのように比較・評価するかは、今後検討が必要である。

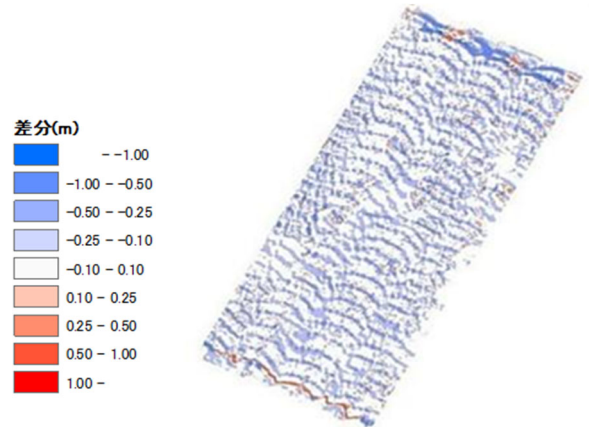


図-3.24 CUBE水深と従来方式による最浅値データの水深差分比較図 (名古屋港：スワ幅120° ラップ率100%)

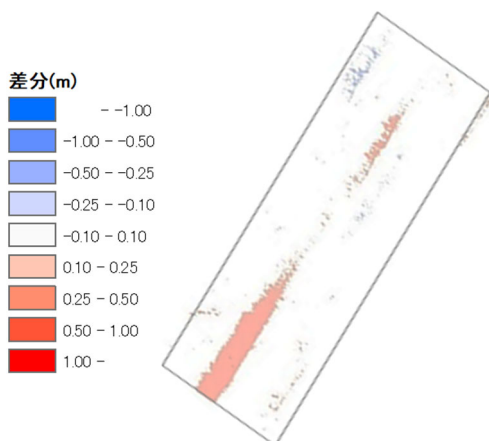


図-3.25 CUBE 水深と従来方式による最浅値データの水深差分比較図 (荻田港：スワ幅 120° ラップ率 100%)

(4) CUBE 処理による処理結果の数学的評価

・仮説水深の信頼度

CUBE 処理による処理結果の仮説水深の信頼度 (HYPOTHESIS_Strength) を図-3.26～3.27 に示す。仮説水深の信頼度は、0～5 の数値であり、0 に近いほどグリッド内において他に仮説水深を設けることなく、確からしい水深値を特定したことを示す指標である。

名古屋港における仮説水深の信頼度 (図-3.26) を見ると全体的に青く表示されており、全データ個数に対して 0 以外の数値が現れた箇所は 5% 程度であり、確からしい水深値を特定できたことを意味する。ただし、法面域ではグリッド内の水深こぼれつきがあるため、信頼度が 0 以外の数値を取るため、青色以外の色が見られる。なお、底面部においても信頼度 0 以外の数値が散見されるが、これは浚渫工の掘削痕による段差を反映したデータのこぼれつきによるものである。住吉らの報告のとおり、キャプチャー距離、hcs、曖昧さ除去等の CUBE 水深の計算パラメータ設定を改善することにより、CUBE 水深の仮説水深の信頼度を向上できる可能性があると思われる。

一方、荻田港における仮説水深の信頼度 (図-3.27) は、ほぼすべてのグリッドにおいて青く表示されており、他に仮説水深を設けることなく確からしい水深値を得られている。全データ個数に対して仮説水深の信頼度が 0 以外を示すデータ数は 0.5% にも満たない結果となった。

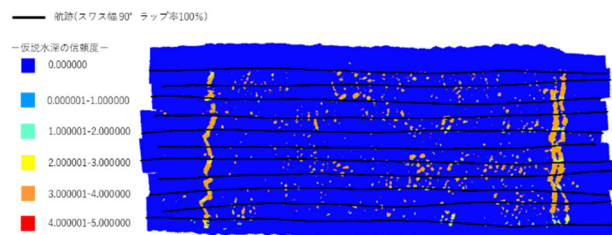


図-3.26 仮説水深の信頼度 (名古屋港：スワ幅 90° ラップ率 100%)

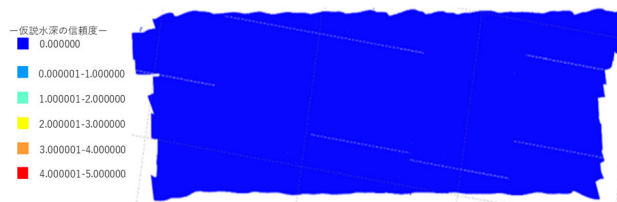


図-3.27 仮説水深の信頼度 (荻田港：スワ幅 90° ラップ率 100%)

・仮説水深の数

仮説水深の数 (HYPOTHESIS_Count) は、各グリッドにおいて CUBE 水深を確定するまでに作成された仮説水深の数を示す指標である。仮説水深の数は、1 であれば無条件でそのグリッドの CUBE 水深が確定されたことを意味し、異状物がある場合やノイズが残っている場合を視覚的に判断するために用いられる。

名古屋港における仮説水深の数 (図-3.28) は概ね仮説水深の個数が 1 であるグリッドで占められているが、図-3.26 と同様に、法面部や掘削痕に仮説水深の個数が 2 であるグリッドが見られる。

一方、荻田港における仮説水深の数 (図-3.29) はほぼ全てのグリッドにおいて 1 となっており仮説水深の信頼度 (図-3.27) と同様に、他に仮説水深を作成することなく、1 つの仮説水深で CUBE 水深が確定されている。

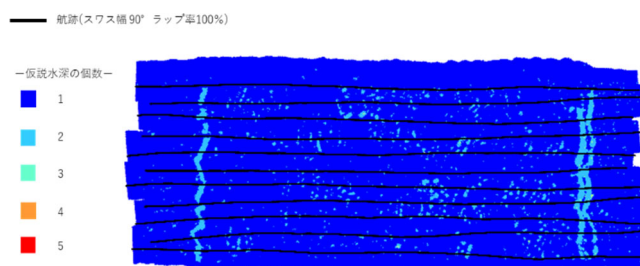


図-3.28 グリッド毎に作られた仮説水深の数 (名古屋港：スワ幅 90° ラップ率 100%)

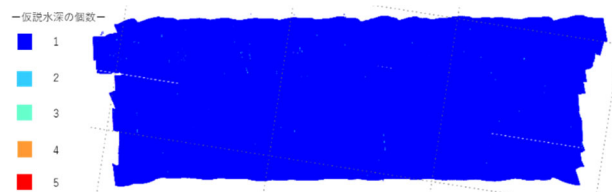


図-3.29 グリッド毎に作られた仮説水深の数 (荻田港：スワ幅 90° ラップ率 100%)

・点群データの不確かさ

点群データの不確かさ (Uncertainty) は、各グリッドの水深の計算に使用した水深点について、鉛直方向の不確かさの平均値を算出したものである。マルチビームのデータ品質や各計測機器の精度、

音速度、潮位の誤差値などを元に計算され、各グリッドにおける測得データの品質を評価できる指標である。

名古屋港における点群データの不確かさ(図-3.30)は、スワス幅90°、ラップ率100%の計測条件のものであるが、ほぼ一面青色に表示され、品質の高いデータが使用されていることを示している。

一方、荻田港における点群データの不確かさ(図-3.31)は、カラーバーの範囲が図-3.30と異なるために図-3.30と直接比較することはできないが、不確かさの数値は一樣に低く、品質の高いデータが使用されていると考えられる。

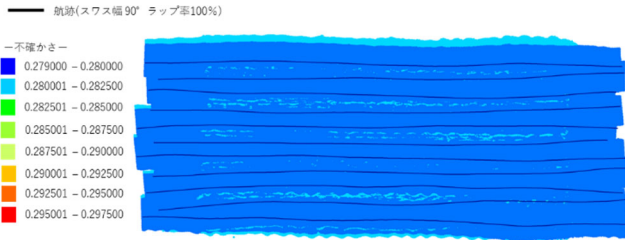


図-3.30 点群データの不確かさ
(名古屋港：スワス幅90° ラップ率100%)

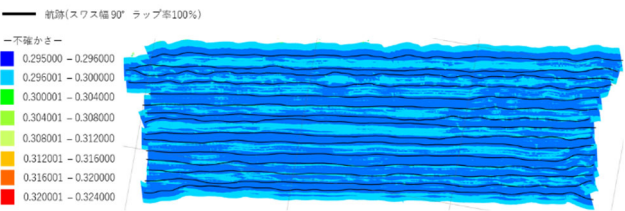


図-3.31 点群データの不確かさ
(荻田港：スワス幅90° ラップ率100%)

3.5 1グリッドあたりの測得点数について

(1) 名古屋港における1グリッドあたりの測得点数について
名古屋港におけるラップ率100%及びスワス幅90°、120°のパターンにおける1グリッドあたりの測得点数について図-3.32～3.33に示す(全パターンの図は付録A参照)。本図は1グリッドあたりの測得点数を色彩の違いにより表現したもので、赤く表示されたグリッドが少ないほど1グリッドあたり5点以上の測得点数が得られたグリッドが多く、達成率が高いことを示す。両パターンとも、ラップしない外縁部を除けば、1グリッドあたり5点以上の測得点数を得られている。スワス幅が狭いほど得られる測得点数は顕著に増加した。具体的なグリッド点の総数及び達成率の定量的な評価は3.5(3)にて述べる。

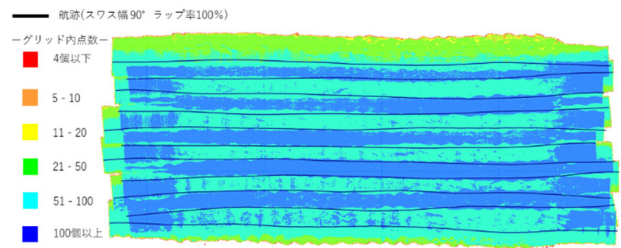


図-3.32 1グリッドあたりの測得点数
(名古屋港：スワス幅90° ラップ率100%)

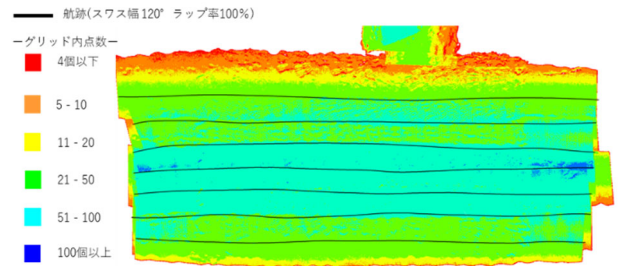


図-3.33 1グリッドあたりの測得点数
(名古屋港：スワス幅120° ラップ率100%)

(2) 荻田港における1グリッドあたりの測得点数について
荻田港におけるラップ率100%及びスワス幅90°、120°のパターンにおける1グリッドあたりの測得点数について図-3.34～3.35に示す(全パターンの図は付録B参照)。

名古屋港の結果と同様、ラップしない外縁部を除けば、1グリッドあたり5点以上の測得点数を得られている。本計測においては荻田港の計測域が名古屋港に比べ水深が大きいので、同じ計測条件でも得られる測得点数は少ない傾向にあった。

両港に共通して、データの重複しない外縁部は取得点密度が低い傾向にある。CUBE処理の特性に鑑み、測量区域の外縁部を測深する際はもう一本外側の測線を設定の上計測するか、または計測が困難な場合には外縁部を二度計測する等、取得点密度を高めるための工夫が必要である。

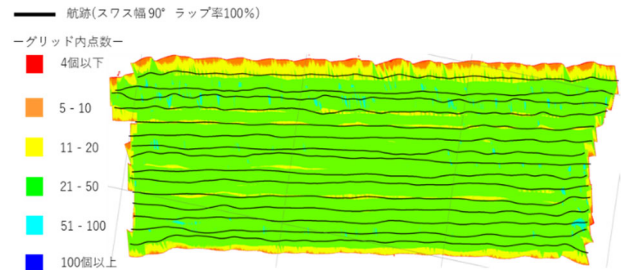


図-3.34 1グリッドあたりの測得点数
(荻田港：スワス幅90° ラップ率100%)

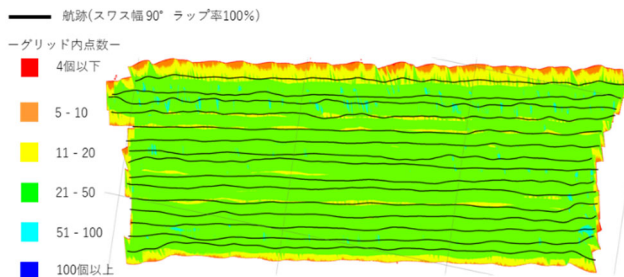


図-3.35 1 グリッドあたりの測得点数
 (荇田港：スワ幅 120° ラップ率 100%)

(3) 1 グリッドあたりの測得点数について (定量的評価)

(1) (2) における各港 9 パターンのグリッド総数及び海上保安庁基準の素案にて定める 1 グリッド当たり 5 点以上を満たすグリッドの達成率について表-3.4~3.7 に示す。なお、表-3.5、表-3.7 については測深範囲の内、明らかにグリッド点数が少なくノイズが多いラップしない外縁部を除外して計算している。

外縁部を除外する場合は、9 パターンの中で最も測深範囲が狭くなっているスワ幅 90° ラップ率 100%のパターンにおける測深範囲の内、他計測パターンとの計測範囲が重複している範囲を「限定範囲」として設定し、その中のグリッド数及び1 グリッド当たり 5 点を満たすグリッドの達成率についてまとめた。限定範囲のイメージを図-3.36 に示す。図-3.36 は荇田港におけるスワ幅 90°、ラップ率 100%のパターンにおける地形彩段図に限定する範囲を表示したものである。この他 8 パターンにおいても図-3.36 と同じ範囲を限定範囲として設定しており、限定範囲における総グリッド数は 9 パターンとも同数となる。

なお、範囲を限定しない計上方法 (表-3.4、3.6) においては、測点が得られなかったグリッド (空白グリッド) はグリッド総数には含まれていない。一方、限定範囲ではいずれのパターンにおいても各港のグリッド総数が同じになるため、グリッド総数より測点が得られたグリッドを差し引いたグリッドを空白グリッドとしてカウントしている。

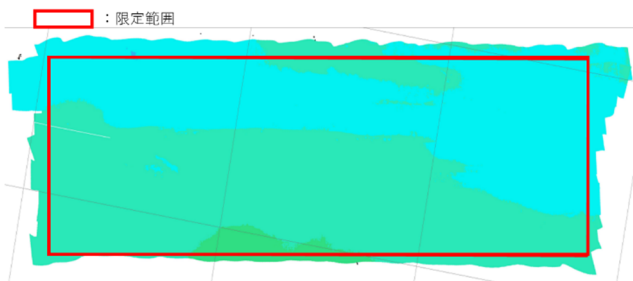


図-3.36 限定範囲 (荇田港：スワ幅 90° ラップ率 100%)

各港の結果は以下の通りである。

・名古屋港

範囲を限定しない名古屋港の結果 (表-3.4) は、いずれのパターンにおいても 1 グリッド当たりの測点数 5 点以上のグリッドが 95% を達成している結果になった。なお、地形彩段図において述べた通り、スワ幅 90° ラップ率 20% (図-3.6) の条件においては測点が得られていない未測域が多数確認されており、表-3.4 においても、空白グリッドが無視されているためグリッド総数は少なくなっている。

外縁部を除き範囲を限定した表-3.5 においても、全てのパターンにおいて 1 グリッド当たりの測点数 5 点以上が 95% を達成している。一方、ラップ率 20% のパターンにおいては、全てのスワ幅にて空白グリッドが発生していた。スワ幅 90° における空白グリッド数が多くなった要因として、掘削域から両脇の浅所において狭いスワ幅で計測を行ったことで、そもそも計測機器のビームが届いていない箇所が発生したと思われる。浅い範囲の計測・及びデータ品質の観点からも、ラップ率を高くしての計測が必要である。

・荇田港

範囲を限定しない荇田港 (表-3.6) の結果は、スワ幅 90° において 1 グリッド当たりの測点数 5 点以上のグリッドが 95% を達成していた。一方、スワ幅 120°、130° のパターンにおいては達成率 95% に届かない結果となった。今回の計測では、名古屋港の掘削域 (約 9m~10m) に対し、荇田港は約 12m~14m と深く、水深が大きくなる場合においてはスワ幅を狭める対応が必要と思われる。

範囲を限定した表-3.7 では、スワ幅 130° ラップ率 20% の一番緩い条件を除いたパターンにおいて、1 グリッド当たりの測点数 5 点以上のグリッドが 95% を達成した。一方、空白グリッド数に着目すると、ラップ率 20%、60% の場合において空白グリッドが発生しているパターンが見られる。海上保安庁が定める CUBE 処理基準の素案においては条件を満たしているものの、未測範囲をなくすためにはラップ率 100% で計測することが望ましい。

表-3.4 海上保安庁基準素案に対する達成状況 (名古屋港)

スワ幅	ラップ率	グリッド総数	5点以上	達成率	判定
90°	20%	289,004	288,157	99.71%	○
	60%	306,324	305,568	99.75%	○
	100%	296,182	295,396	99.73%	○
120°	20%	382,403	379,791	99.32%	○
	60%	376,926	374,793	99.43%	○
	100%	640,990	628,888	98.11%	○
130°	20%	371,021	365,995	98.65%	○
	60%	399,607	389,921	97.58%	○
	100%	384,897	367,188	95.40%	○

表-3.5 海上保安庁基準素案に対する達成状況 (名古屋港・限定範囲)

スワ幅	ラップ率	測得点5点以上	測得点5点未満	空白グリッド	達成率	判定
90°	20%	227,958	116	807	99.60%	○
	60%	229,678	10	0	100.00%	○
	100%	229,688	0	0	100.00%	○
120°	20%	229,611	55	11	99.97%	○
	60%	229,687	1	0	100.00%	○
	100%	229,688	0	0	100.00%	○
130°	20%	228,557	399	366	99.67%	○
	60%	229,680	8	0	100.00%	○
	100%	229,687	1	0	100.00%	○

表-3.6 海上保安庁基準素案に対する達成状況 (荇田港)

スワ幅	ラップ率	グリッド総数	5点以上	達成率	判定
90°	20%	1,910,764	1,901,390	99.51%	○
	60%	1,838,718	1,833,854	99.74%	○
	100%	1,818,668	1,813,926	99.74%	○
120°	20%	2,156,471	1,967,948	91.26%	×
	60%	2,055,791	1,926,419	93.71%	×
	100%	2,106,893	1,937,239	91.95%	×
130°	20%	2,288,305	1,704,066	74.47%	×
	60%	2,266,864	1,927,842	85.04%	×
	100%	2,194,481	1,944,256	88.60%	×

表-3.7 海上保安庁基準素案に対する達成状況 (荇田港・限定範囲)

スワ幅	ラップ率	測得点5点以上	測得点5点未満	空白グリッド	達成率	判定
90°	20%	1,474,341	3,860	16,887	98.61%	○
	60%	1,511,802	47	63	99.99%	○
	100%	1,511,975	0	0	100.00%	○
120°	20%	1,453,707	58,242	13	96.15%	○
	60%	1,511,112	863	0	99.94%	○
	100%	1,511,975	0	0	100.00%	○
130°	20%	1,257,202	254,727	23	83.15%	×
	60%	1,498,864	13,111	0	99.13%	○
	100%	1,511,968	7	0	100.00%	○

3.6 CUBE 処理を採用した場合の ICT 浚渫工への影響

図-2.4 に示すように、工事以外の作業として測量からデータ解析、成果品目の提出作業等がある。このうち、CUBE 処理を用いた場合に考えられる、従来方式と比べた変更点や留意事項等について検討した。

(1) ICT 浚渫工における成果品目の変更項目

CUBE 処理を用いた場合、従来方式において図-2.4 に示す⑥データ解析の作業に含まれるノイズ処理作業の一部が CUBE 処理に置き換わる。よって、測量作業においての変更点は無く、表-3.8 の太枠内に示す成果品目のみ変更が見込まれる。

・起工測量における成果品目：

No.14 マルチビームによる起工測量の計測点群データ

No.15 マルチビームによる起工測量の数量計算用点群データ

No.16 マルチビームによる起工測量の数量計測データ

・変更点 (起工測量)

従来方式では起工測量にて計測した点群データをノイズ処理した後のデータが No.14 計測点群データとなる。CUBE 処理により得られた CUBE 水深を従来の点群データに置き換えることで、以降の作業においての変更点は無い。No.15 数量計算用点群データは、No.14 計測点群データより 1 点/1.0m 平面格子に中央値を抽出したものを指す。この抽出点における考え方については後述する。

・出来形測量における成果品目：

No.12 マルチビームによる出来形測量の計測点群データ

No.13 マルチビームによる出来形評価用点群データ

No.17 マルチビームによる出来形測量の数量計測データ

・変更点 (出来形測量)

出来形測量にて計測した点群データをノイズ処理した後のデータが No.12 計測点群データである。起工測量と同様、CUBE 処理により得られた CUBE 水深を従来の点群データに置き換えることで以降の作業においての変更点は無い。

・No.18 水路測量資料の変更項目

水路測量資料は、海上保安庁へ提出する水路測量の成果・資料と同じものを ICT 浚渫工の成果品目としても提出を求めているものである。水路測量において CUBE 処理を用いた場合の追加資料等については正式な発表は無いものの、海上保安庁へのヒアリングにおいて追加が必要となりそうな情報について聞き取りを行っている。

ヒアリングは海上保安庁海洋情報部及び各管区（第一～第十一）における水路測量の成果品等の審査を行う担当者に対して実施しており、CUBE 処理を前提とした水路測量成果において追加での提出が想定される項目について聞き取りを行った。ヒアリング結果を表-3.9 に示す。いずれも CUBE 水深の計算において必要となる情報について追加で提出が求められることが想定される。CUBE 水深の計算に用いる TPU（不確かさ）の算出に計測機器の精度や設置機器の位置関係が考慮されるため、艀装状況や精度、船舶の形状を示す内容の他、CUBE 処理において設定するグリッドサイズやパラメータ等の入力値についての内容についても提出が求められることが想定される。

一方、これら追加内容は工夫が必要であるものの、現在提出している資料に追記する形で対応が可能であることが示唆されている。また、IHO（国際水路機関）で規格されるファイル等によりデータでの確認が出来れば、紙資料での提出は必要無いとのことであった。

(2) ノイズ処理作業後の点群データ抽出作業

従来方式においては、図-3.37 上段に示すとおり、ノイズ処理後の測得点（1.0m 平面格子3 点以上取得）より 1.0m 平面格子に 1 点（起工測量の場合は土量計算に必要な中央値、出来形測量の場合は出来形検査に必要な最浅値）を抽出することとしている。一方、CUBE 処理により得られた CUBE 水深は、グリッドごとに決まった CUBE 水深が唯一つ得られる。その上で、1.0m 平面格子内の複数グリッドの各 CUBE 水深から 1 点（起工測量の場合は中央値、出来形測量の場合は最浅値）を抽出する。これ以降の作業については従来方式通り進めることができ、先述した表-3.8 における No.12～No.17 の資料については、特に内容に変更無く作成出来ると考えられる。

(3) CUBE 処理を採用した場合の ICT 浚渫工への影響

ICT 浚渫工における成果品目については、No.12～17 の点群データを算出するノイズ処理後のデータの取扱に変更があるものの資料自体に変更点は無い。No.18 水路測量において CUBE 処理を用いた場合に追加が必要となる資料が見込まれている。事前のヒアリングでは追加が必要となる項目についても工夫次第で従来の資料に追記する形をとれる可能性があり、成果品目の作成において大きく負担が増えるものではないと考えられるが、海上保安庁において CUBE 処理の本格運用が開始された際の水路測量業務準則施行細

則に従う必要がある。ノイズ処理作業後の点群データ抽出作業については、従来方式に当てはめることでデータ解析作業において大きな作業変更点は無いと見込まれている。

以上より、ICT 浚渫工において CUBE 処理を採用した場合、大きく変更のある作業項目や成果品目は無く、CUBE 処理を用いたノイズ処理によりデータ解析の時間の大幅削減が見込まれ、ICT 浚渫工における生産性向上に寄与するものと思われる。

一方、今後 CUBE 処理を用いた ICT 浚渫工の実施に伴い、抽出点の考え方について想定される課題点について以下に述べる。

・中央値の抽出

従来方式では起工測量にて計測した点群データからノイズ処理後、1.0m 平面格子内の中央値 1 点を抽出する。このときマルチビーム計測における取得点密度は 1.0m 平面格子上に 3 点以上としている。一方、CUBE 処理を用いた場合には 1 グリッドに 1 つの CUBE 水深が設定されるため、図-3.37 に示すとおり 1.0m 平面格子上に偶数の点群が形成される場合がある（図-3.37 の場合は 4 点）。この場合、1.0m 平面格子上の中央の 2 点を平均して中央値の水深が抽出される。つまり、1.0m 平面格子内の CUBE 水深からの抽出ではなく、CUBE 水深を統計処理した平均値を中央値として採用することになる。

・CUBE 処理を用いた抽出点の妥当性

CUBE 処理による抽出点（中央値若しくは最浅値）は、従来方式による抽出点と同等に扱うことについて、検証の必要がある。そのため、同じ測定結果から従来方式、CUBE 処理を用いた場合の抽出点を比較し、もし、優位な差が見られれば CUBE 処理を用いた場合の抽出点を補正する必要が生じる可能性がある。

また、CUBE 処理を用いて設定グリッドに得られた CUBE 水深に対し、真値に近い水深を再現したと思われる CUBE 水深面を崩して、従来の方式にて土量計算・出来形検査を実施することへの意義が問われる。CUBE 処理を用いた場合に CUBE 水深をそのまま採用した土量計算・出来形検査の方策について検討を行う必要がある。

表-3.8 ICT 浚渫工提出資料 (太枠内が変更項目)

ICT浚渫工資料					
No	成果品目	No	成果品目	No	成果品目
1	施工計画書	7	GNSS 精度確認結果	13	マルチビームによる出来形評価用点群データ
2	3次元設計データ	8	マルチビーム測深システム点検簿	14	マルチビームによる起工測量の計測点群データ
3	3次元設計データチェックシート	9	水中音速度測定簿	15	マルチビームによる起工測量の数量計算用点群データ
4	数量総括表および土量計算箇所表示図	10	検潮記録	16	マルチビームによる起工測量の数量計測データ
5	出来形管理資料	11	検測(測深精度)管理表	17	マルチビームによる出来形測量の数量計測データ
6	深浅測量精度管理チェックシート	12	マルチビームによる出来形測量の計測点群データ	18	水路測量資料

表-3.9 ヒアリングにより得られた CUBE 処理を用いた場合の追加提出情報の素案 (水路測量)

資料項目	記載内容
データ処理方法に係る報告書	船舶の形状、大きさ 計測機器の機装状況 計測機器の精度等
TPU(不確かさ)計算書	TPU計算に用いられる入力値 (設置機器の位置関係、精度等)
CUBE処理計算簿	グリッドサイズ CUBE水深計算に必要な選択項目 パラメータ

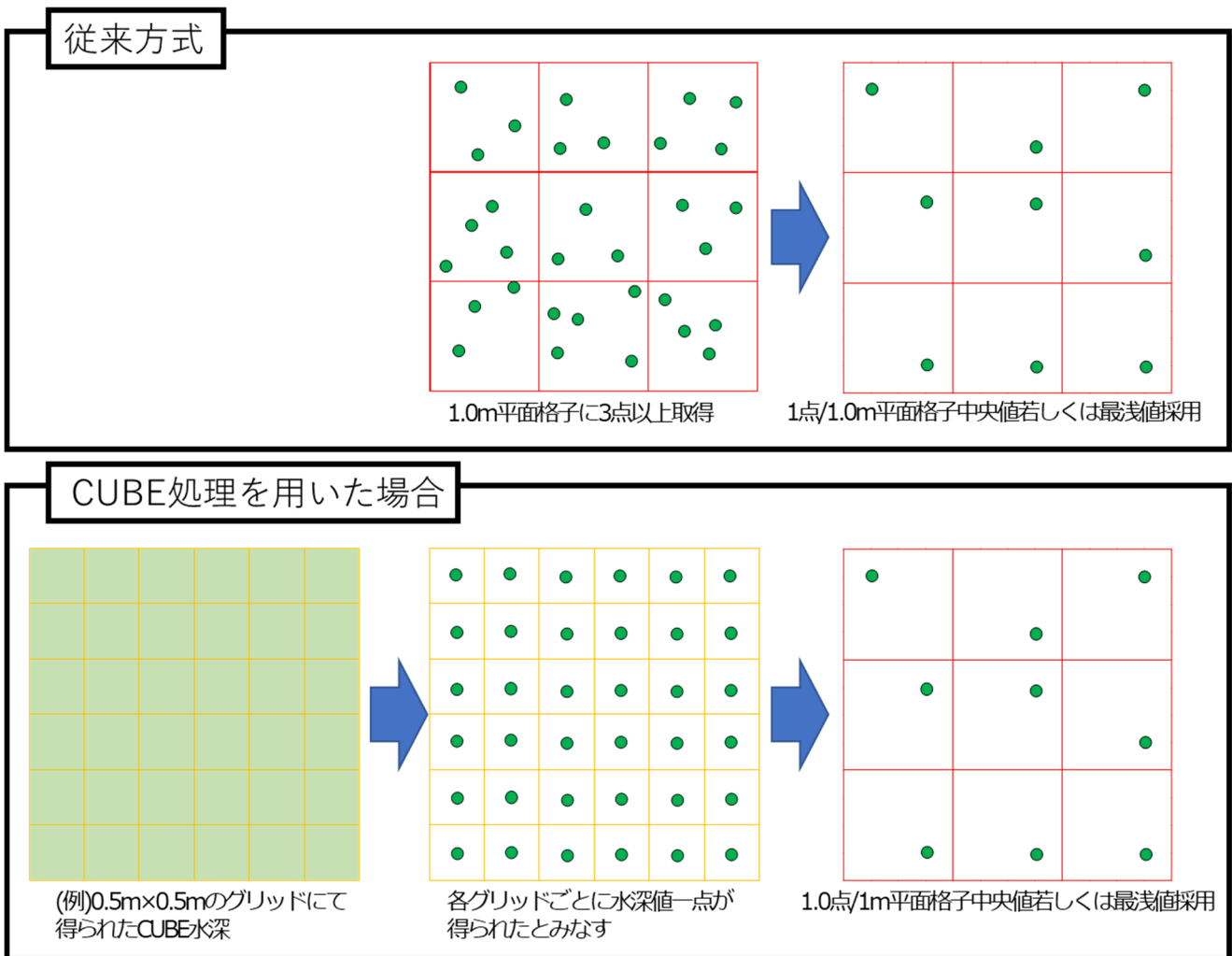


図-3.37 従来方式と CUBE 処理を用いた場合における抽出点の考え方

4. おわりに

4.1 浚渫工事における提出資料に着目した改善方策

本検討では、出来形検査における成果品目に着目し、成果品目ごとの詳細な作業時間を把握するため、実施業者を対象としたアンケートを行った。当アンケートにより時間を要している理由は各案件、発注者ごとに異なり、また各成果品目の作業時間においてもデータ解析等の作業時間を含んでいるものが多数見受けられたことから、検査・報告用資料の作成のみに重点をおいた効率化よりもデータ処理を含む効率化が重要であると分かった。

4.2 浚渫工事におけるノイズ処理に着目した改善方策

ICT 浚渫工におけるデータ解析時間の効率化に向け、海外では既に実用されている CUBE 処理を採用した場合における各種作業への影響等について検討を行った。名古屋港・荻田港における現地実証での計測結果を CUBE 処理し、各種条件において海上保安庁が定める1グリッド当たり測得点数5点以上のグリッドの割合が95%を超えているか、達成率にて確認を行った。名古屋港においてはいずれの条件においてもグリッド割合の基準を満たした。より水深が大きく、厳しい条件となる荻田港においてはスワ幅 90° における条件でのみグリッド割合の基準を満たした。

また、ICT 浚渫工において CUBE 処理を用いた場合の作業変更点について検討した。ICT 浚渫工における検査・報告用資料については新たに追加される項目は無く、水路測量の検査・報告用資料では追加提出項目があるものの、大きな作業負担にならない見込みであった。点群データの抽出点作業においては検証すべき課題があるものの、従来方式に当てはめた抽出作業を行うことで作業負担は増加せず、ノイズ処理の作業時間の大幅削減が見込まれ、ICT 浚渫工全体を通して生産性向上が期待できる。一方、点群データの抽出作業においては中央値の抽出の考え方や抽出点の妥当性について課題点があり今後検証の必要がある。

謝辞

本資料のアンケートにあたっては、直轄工事における ICT 浚渫工を受注されている施工業者に多大なる協力を頂いた。また、ヒアリング調査にあたっては海上保安庁海洋情報部より、CUBE 導入に向けた検討内容に関する情報を頂いた。ここに記し、感謝の意を表す。

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>（2021年12月15日最終アクセス）
- 2) 港湾における ICT 導入検討委員会：第1回資料，2016，<https://www.mlit.go.jp/common/001135500.pdf>（2021年12月15日最終アクセス）
- 3) 港湾における i-Construction 推進委員会：第1回資料，2020，<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/Shiryo.pdf>（2021年12月15日最終アクセス）
- 4) 国土交通省港湾局：マルチビームを用いた深浅測量マニュアル（浚渫工編）（令和3年4月改訂版），2021，<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001397857.pdf>（2021年12月15日最終アクセス）
- 5) 国土交通省港湾局：3次元データを用いた出来形管理要領（浚渫工編），2021，<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001397861.pdf>（2021年12月15日最終アクセス）
- 6) 村田恵・井山繁・坂田憲治：ICT 浚渫工の更なる生産性向上に向けた検討，国土技術政策総合研究所資料，第1087号，2019
- 7) 海上保安庁 海洋情報部：水路測量業務準則施行細則（令和2年3月27日），2021，https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/saisoku.pdf（2022年1月27日最終アクセス）
- 8) 海上保安庁 海洋情報部：水路測量業務準則施行細則（令和2年3月27日）改正のポイント，2021，https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/saisoku_point.pdf（2022年1月27日最終アクセス）
- 9) Calder, B and Welss, D: CUBE User's Manual, Version 1.13, University of New Hampshire, USA, 2008
- 10) 住吉昌直・栗田洋和・安原徹・橋本崇史・小川遙・長澤亮佑・長野勝行・吉澤信・眞保智彦・秋山祐平：マルチビーム水深測量成果における CUBE 水深の採用について 海外水路機関における最適化の事例紹介，海洋情報部研究報告，第58号，pp.66-79，2020

付録A.1 1グリッドあたりの測得点数_名古屋港（ラップ率20%，スワス幅90°，120°，130°）

— 航跡(スワス幅90° ラップ率20%)

—グリッド内点数—

■ 4個以下

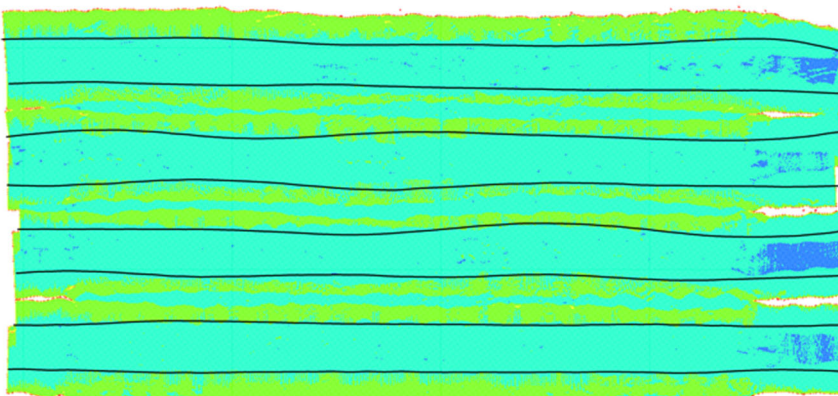
■ 5 - 10

■ 11 - 20

■ 21 - 50

■ 51 - 100

■ 100個以上



— 航跡(スワス幅120° ラップ率20%)

—グリッド内点数—

■ 4個以下

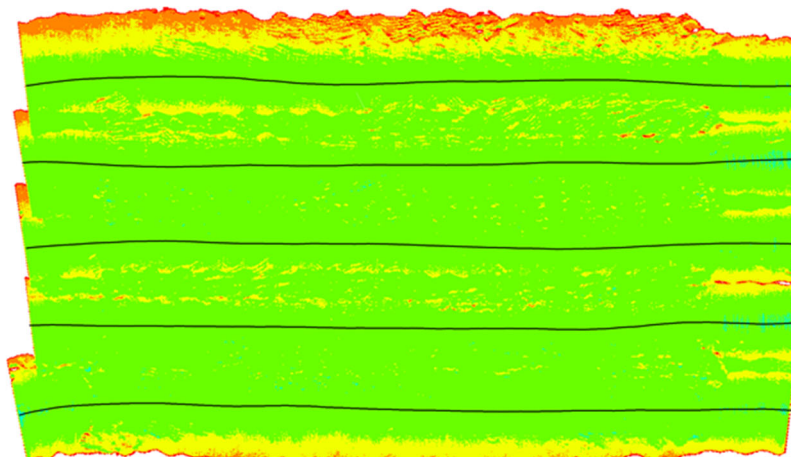
■ 6 - 10

■ 11 - 20

■ 21 - 50

■ 51 - 100

■ 100個以上



— 航跡(スワス幅130° ラップ率20%)

—グリッド内点数—

■ 4個以下

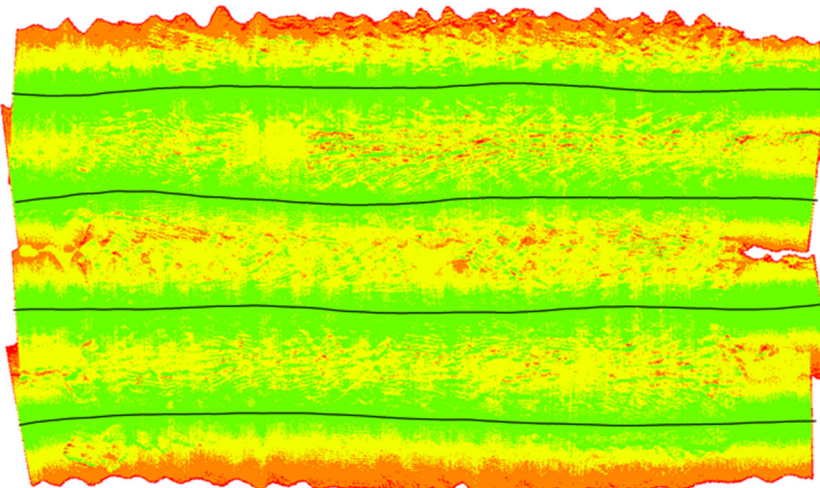
■ 6 - 10

■ 11 - 20

■ 21 - 50

■ 51 - 100

■ 100個以上



付録A.2 1グリッドあたりの測得点数_名古屋港(ラップ率60%, スワ幅90°, 120°, 130°)

— 航跡(スワ幅90° ラップ率60%)

— グリッド内点数 —

■ 4個以下

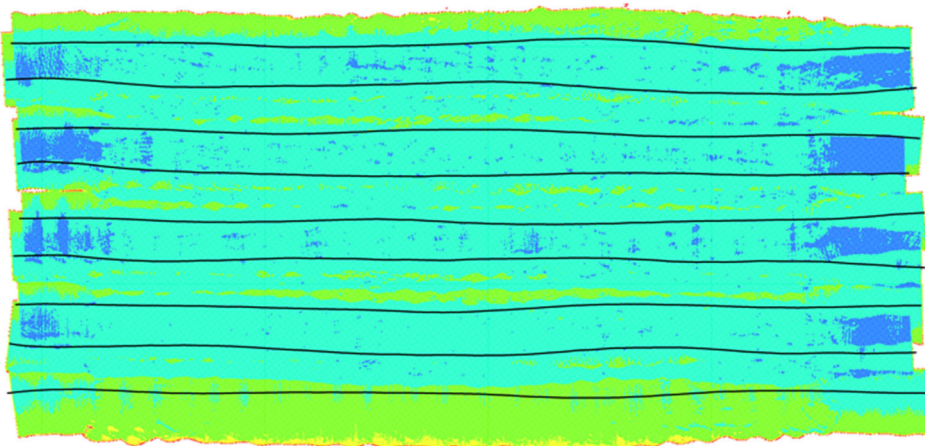
■ 5 - 10

■ 11 - 20

■ 21 - 50

■ 51 - 100

■ 100個以上



— 航跡(スワ幅120° ラップ率60%)

— グリッド内点数 —

■ 4個以下

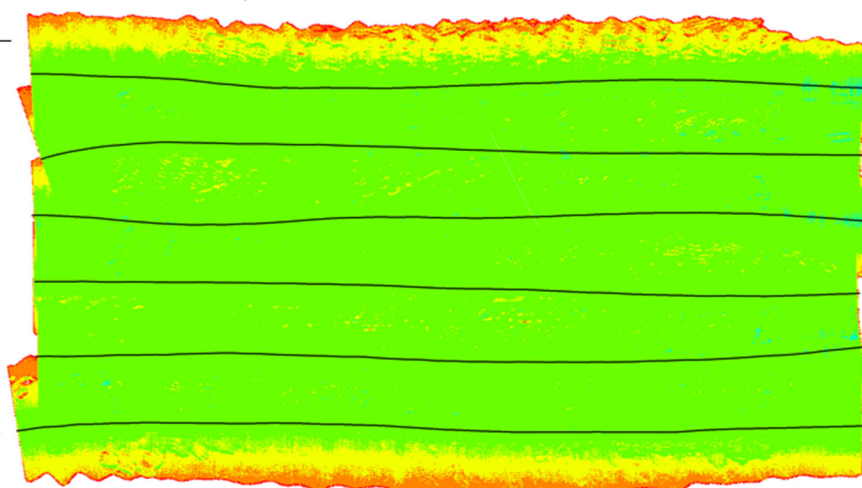
■ 5 - 10

■ 11 - 20

■ 21 - 50

■ 51 - 100

■ 100個以上



— 航跡(スワ幅130° ラップ率60%)

— グリッド内点数 —

■ 4個以下

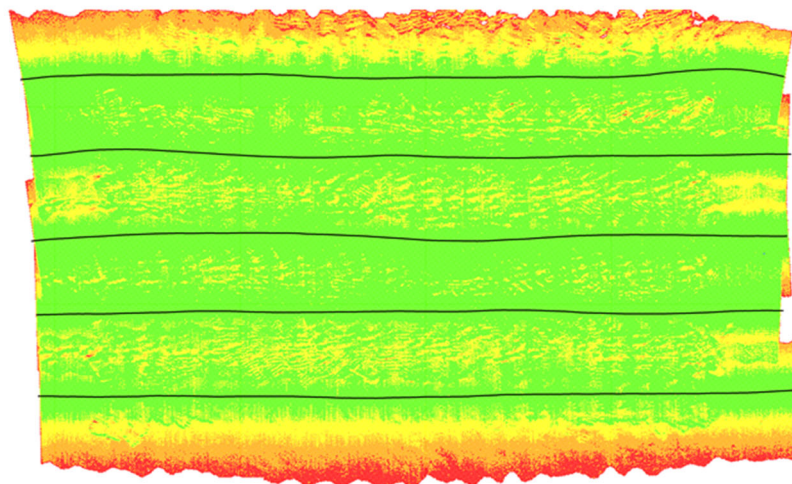
■ 5 - 10

■ 11 - 20

■ 21 - 50

■ 51 - 100

■ 100個以上

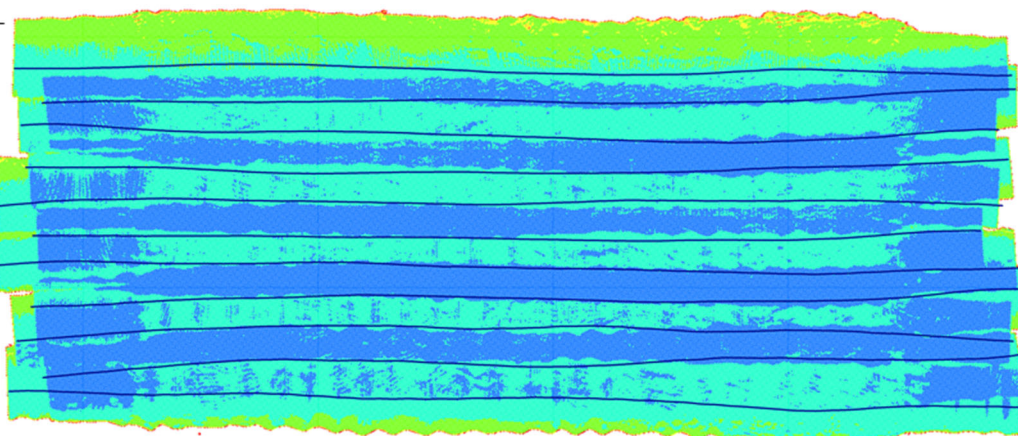


付録A.3 1グリッドあたりの測得点数_名古屋港（ラップ率100%、スワス幅90°、120°、130°）

— 航跡(スワス幅90° ラップ率100%)

—グリッド内点数—

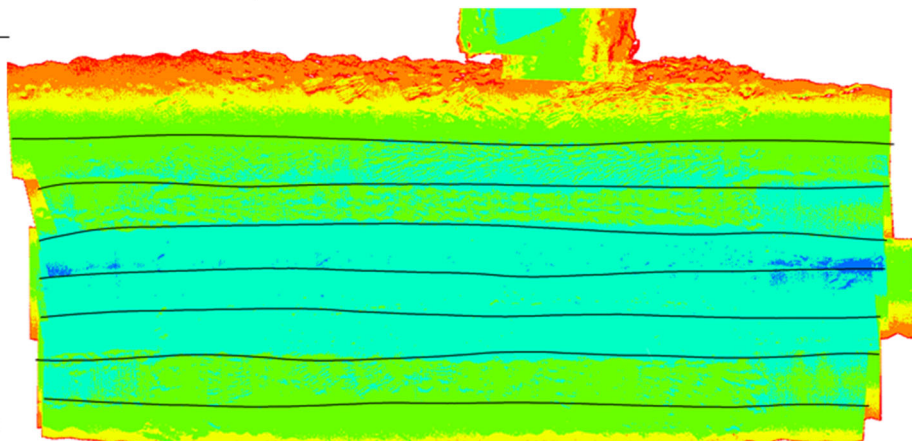
- 4個以下
- 5 - 10
- 11 - 20
- 21 - 50
- 51 - 100
- 100個以上



— 航跡(スワス幅120° ラップ率100%)

—グリッド内点数—

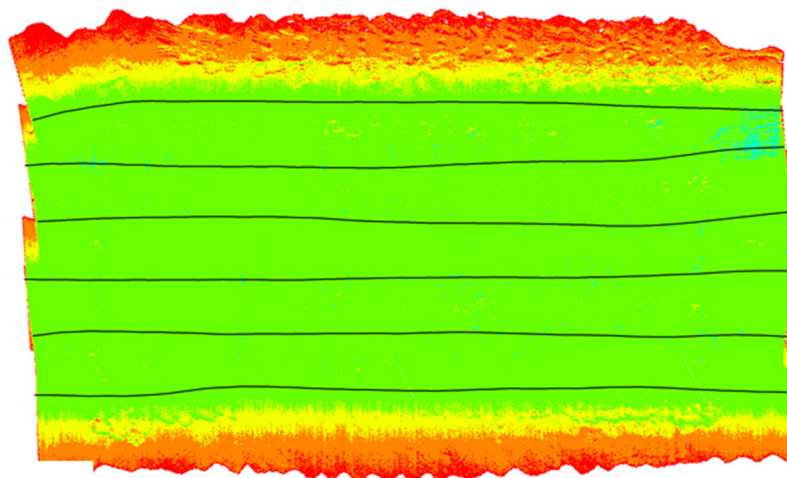
- 4個以下
- 5 - 10
- 11 - 20
- 21 - 50
- 51 - 100
- 100個以上



— 航跡(スワス幅130° ラップ率100%)

—グリッド内点数—

- 4個以下
- 5 - 10
- 11 - 20
- 21 - 50
- 51 - 100
- 100個以上

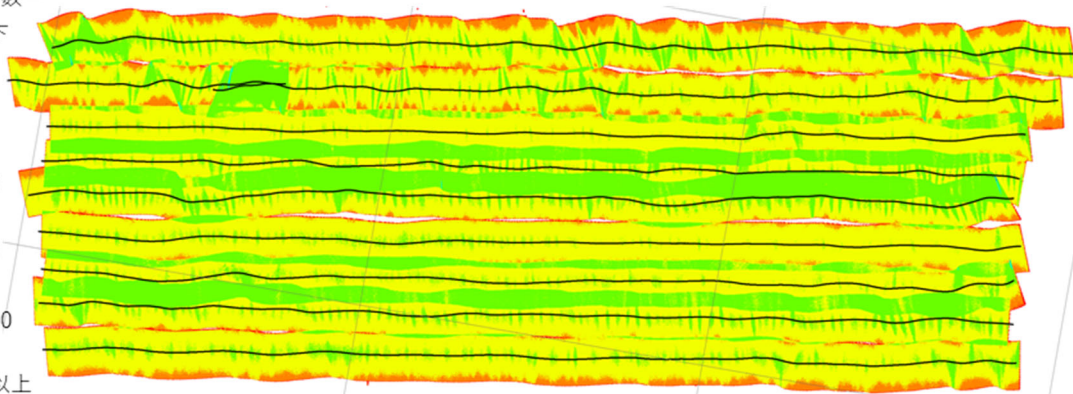


付録B.1 1グリッドあたりの測得点数_荻田港 (ラップ率20%, スワス幅 90° , 120° , 130°)

—— 航跡(スワス幅 90° ラップ率20%)

—グリッド内点数—

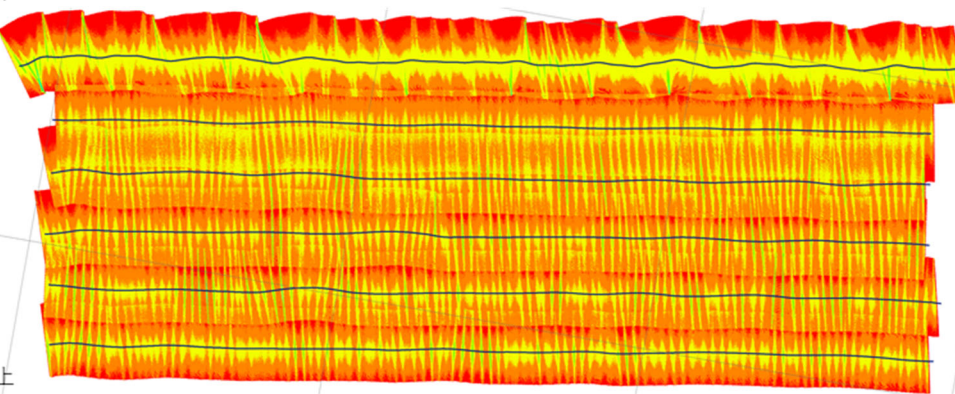
- 4個以下
- 5 - 10
- 11 - 20
- 21 - 50
- 51 - 100
- 100個以上



—— 航跡(スワス幅 120° ラップ率20%)

—グリッド内点数—

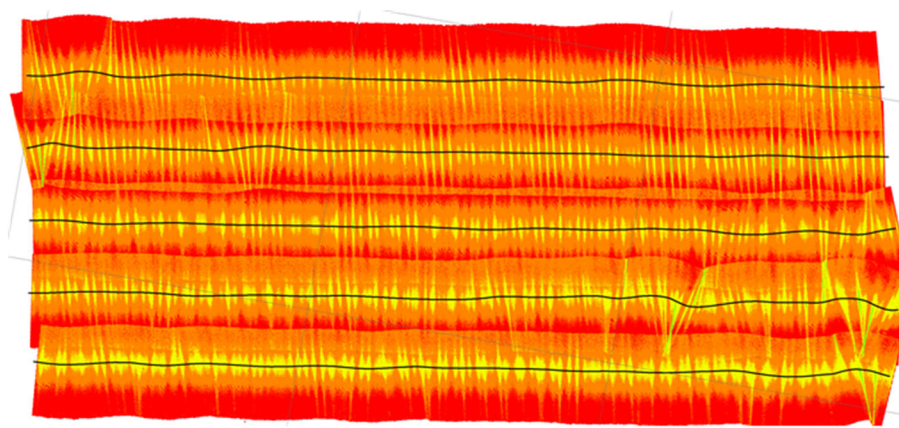
- 4個以下
- 5 - 10
- 11 - 20
- 21 - 50
- 51 - 100
- 100個以上



—— 航跡(スワス幅 130° ラップ率20%)

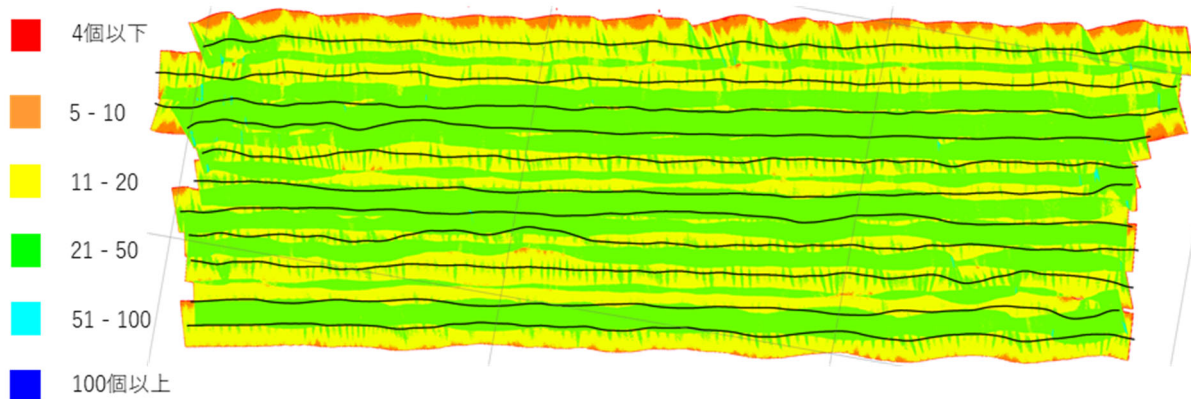
—グリッド内点数—

- 4個以下
- 5 - 10
- 11 - 20
- 21 - 50
- 51 - 100
- 100個以上



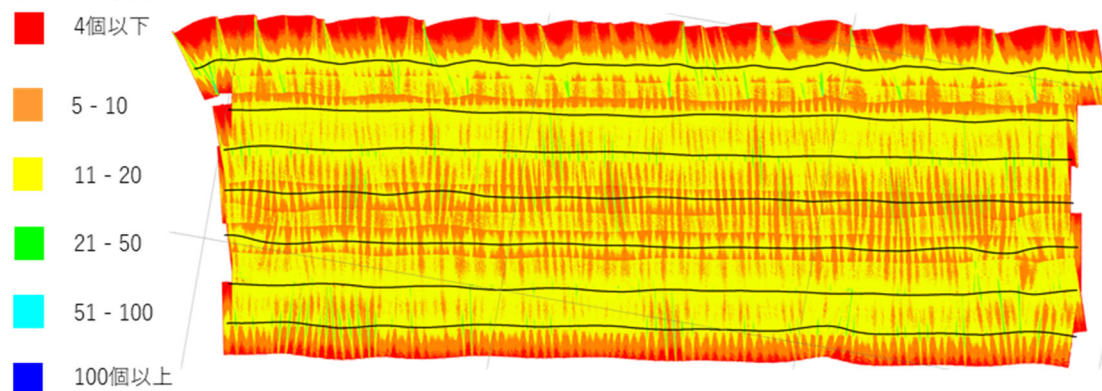
付録B.2 1グリッドあたりの測得点数_荻田港 (ラップ率60%, スワ幅90°, 120°, 130°)

— 航跡(スワ幅90° ラップ率60%)



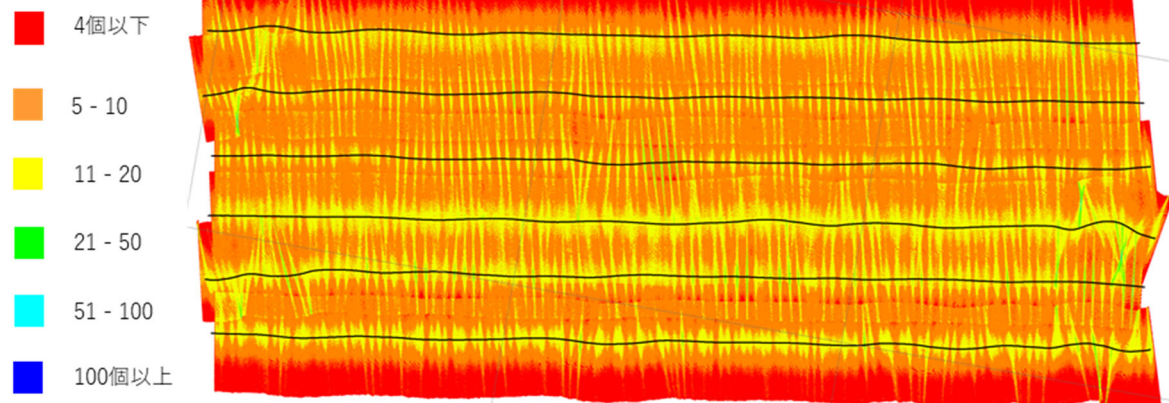
— 航跡(スワ幅120° ラップ率60%)

—グリッド内点数—

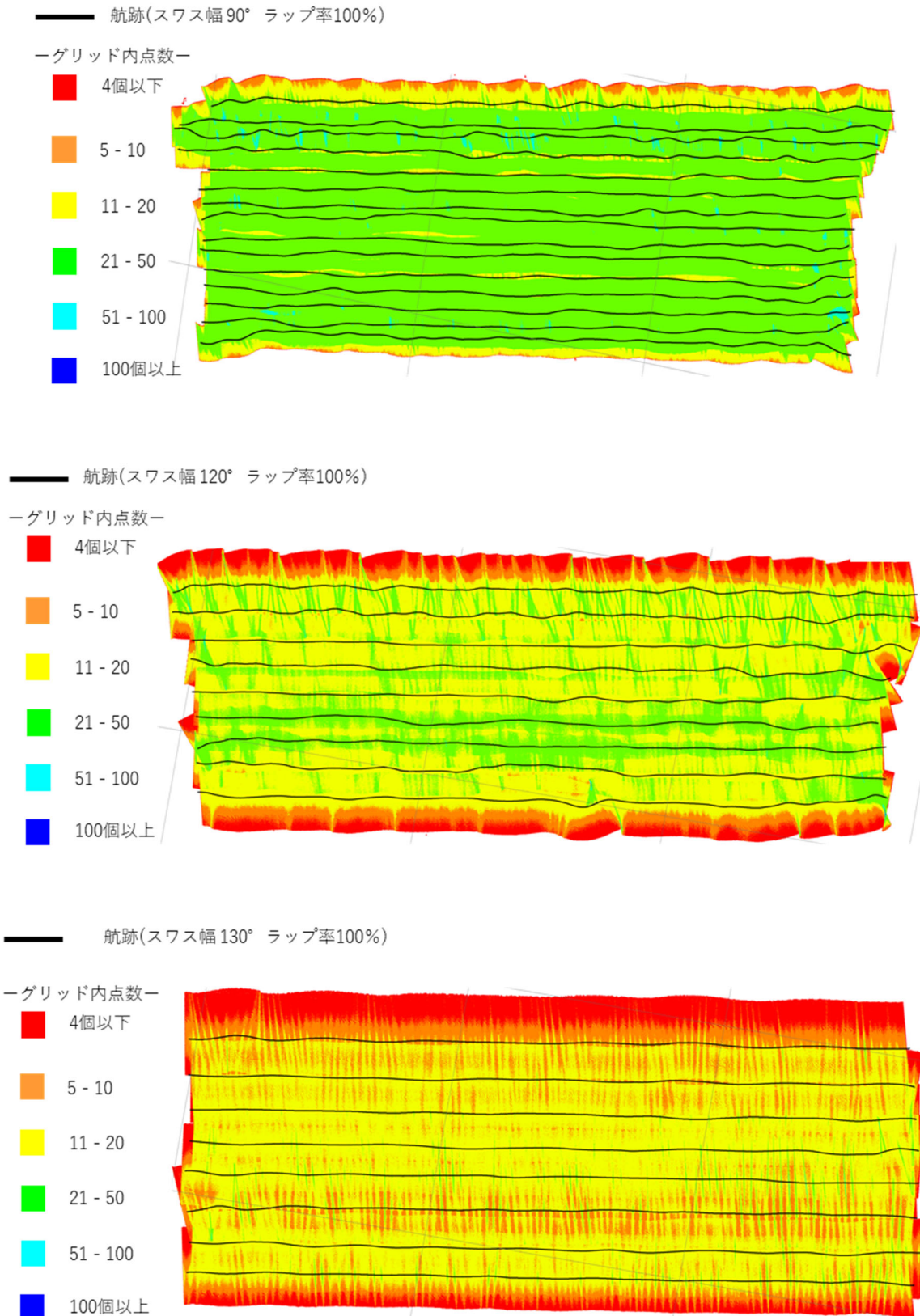


— 航跡(スワ幅130° ラップ率60%)

—グリッド内点数—



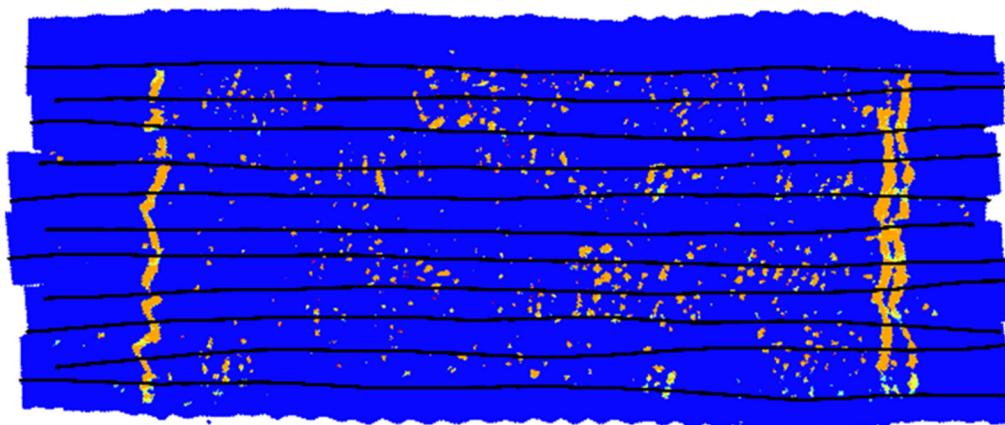
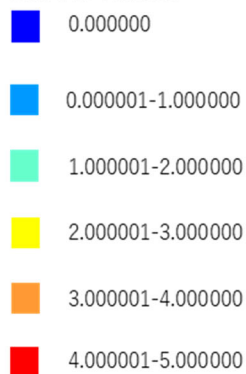
付録B.3 1グリッドあたりの測得点数_荻田港（ラップ率100%、スワ幅90°、120°、130°）



付録C.1 仮説水深の信頼度_名古屋港（ラップ率100%, スワス幅90°, 120°）

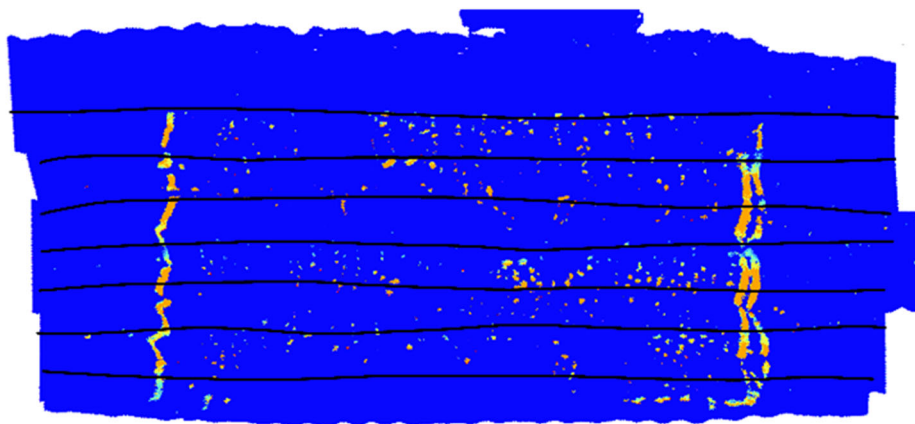
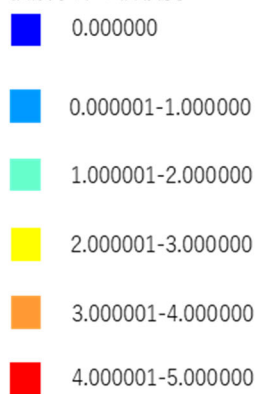
— 航跡(スワス幅90° ラップ率100%)

— 仮説水深の信頼度 —



— 航跡(スワス幅120° ラップ率100%)

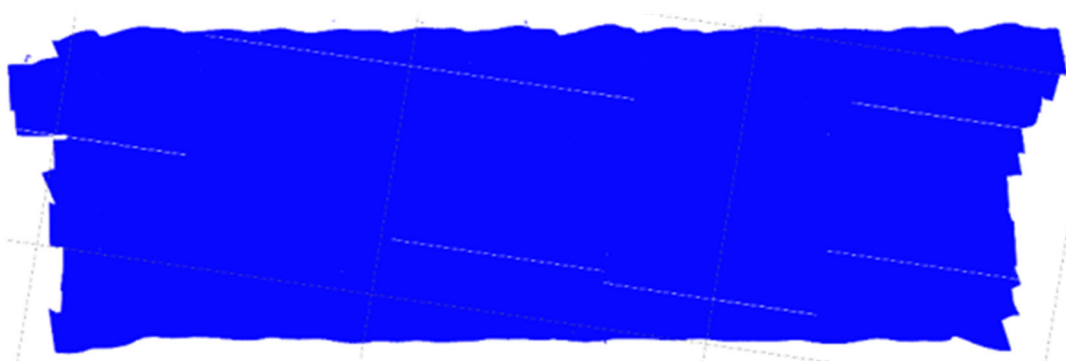
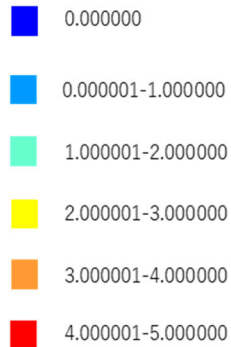
— 仮説水深の信頼度 —



付録C.2 仮説水深の信頼度_荻田港（ラップ率100%、スワ幅90°、120°）

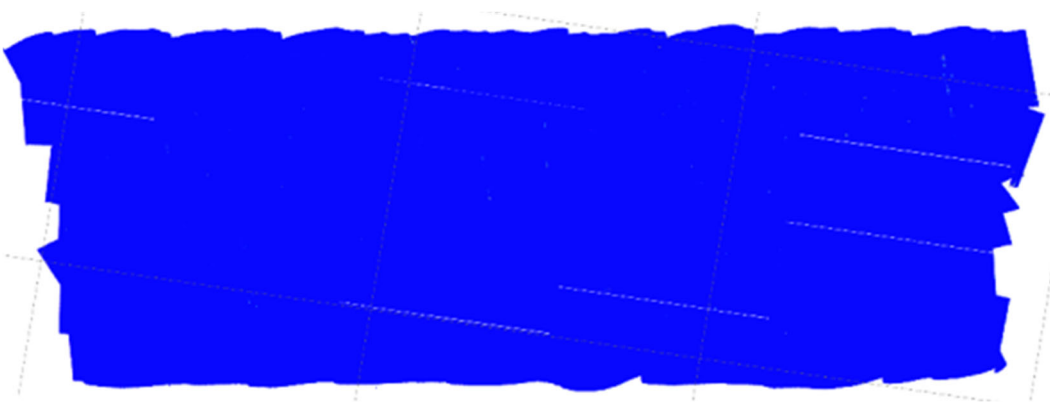
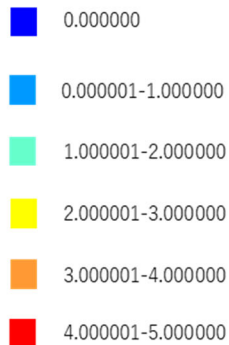
— 航跡(スワ幅90° ラップ率100%)

— 仮説水深の信頼度 —



— 航跡(スワ幅120° ラップ率100%)

— 仮説水深の信頼度 —

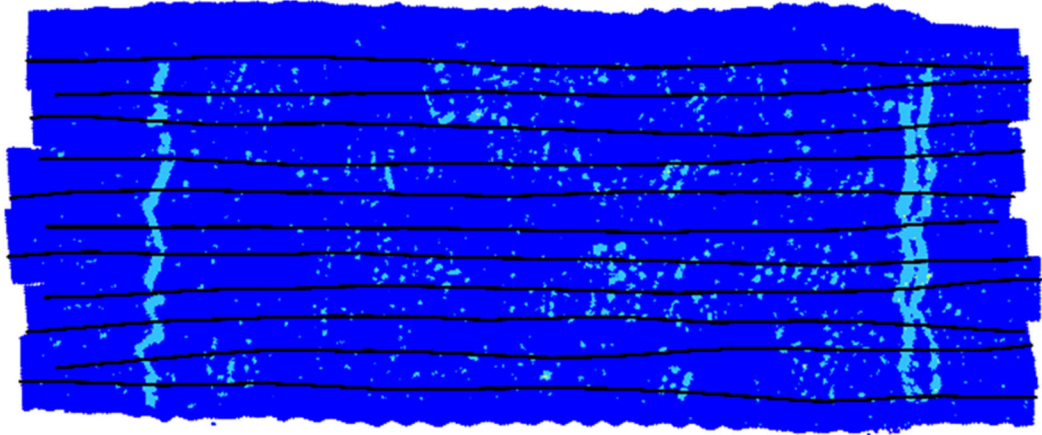


付録D.1 1グリッド毎に作られた仮説水深の数_名古屋港（ラップ率100%，スワ幅90°，120°）

— 航跡(スワ幅90° ラップ率100%)

— 仮説水深の個数 —

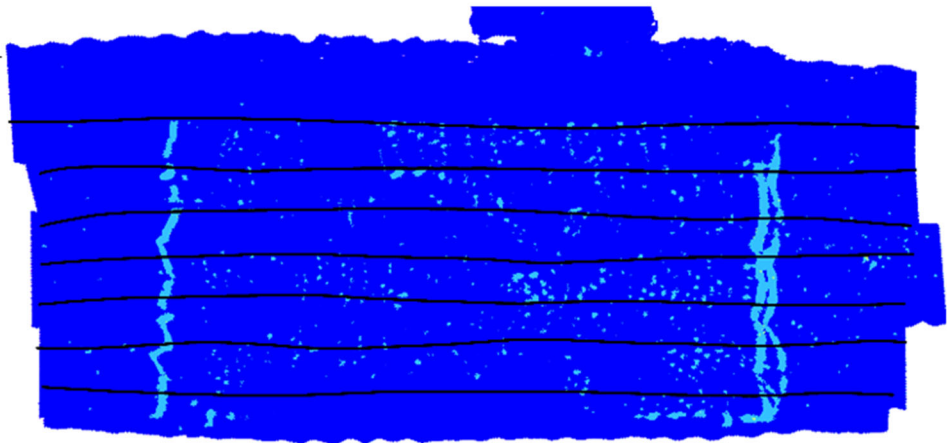
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5



— 航跡(スワ幅120° ラップ率100%)

— 仮説水深の個数 —

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

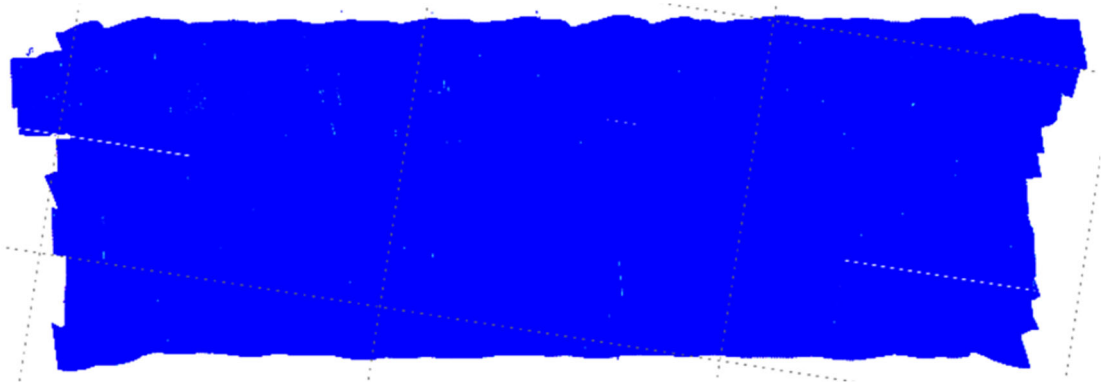


付録D.2 1 グリッド毎に作られた仮説水深の数_荻田港 (ラップ率100%, スワス幅90°, 120°)

— 航跡(スワス幅90° ラップ率100%)

— 仮説水深の個数 —

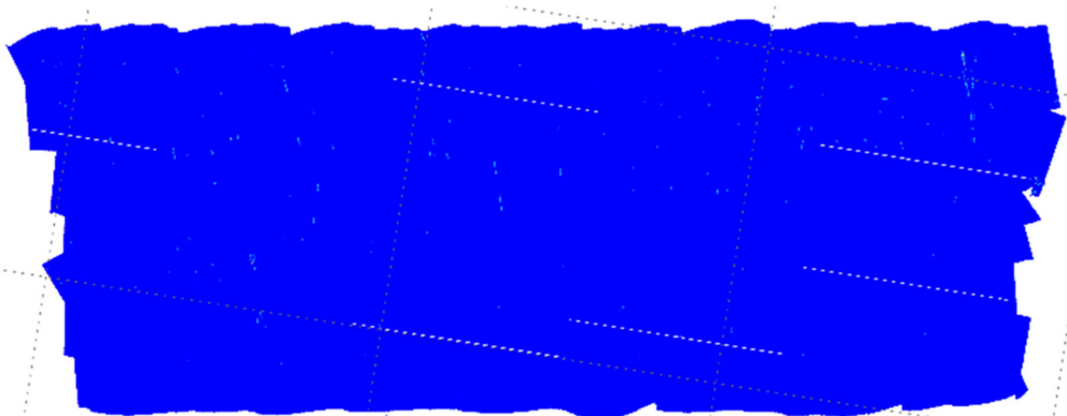
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5



— 航跡(スワス幅120° ラップ率100%)

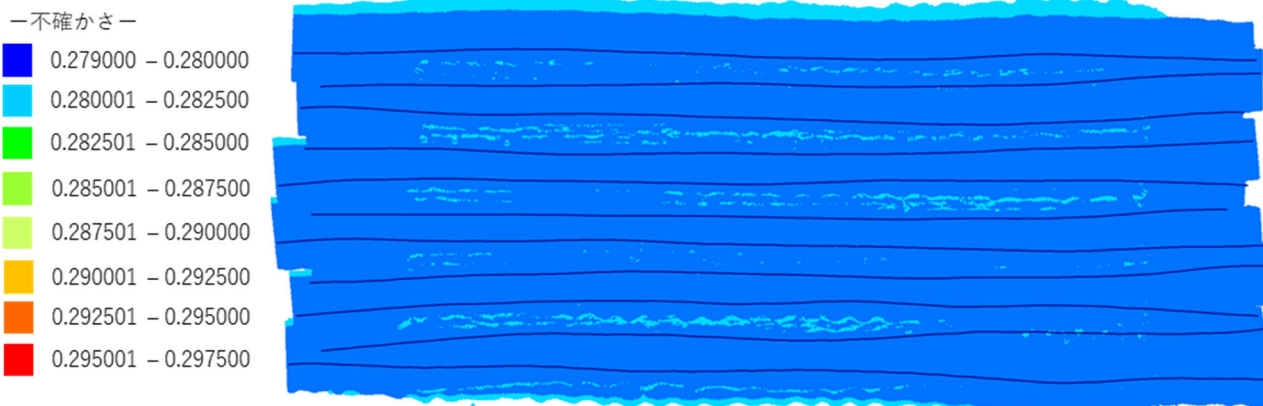
— 仮説水深の個数 —

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

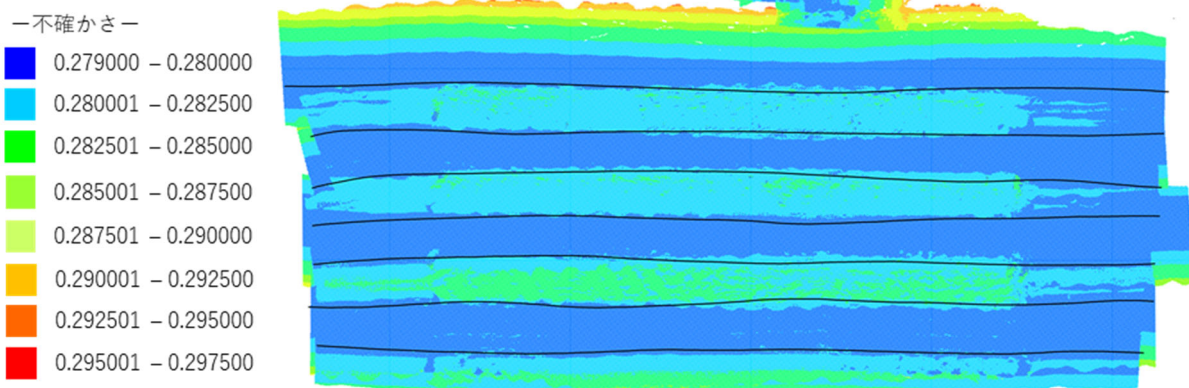


付録E.1 点群データの不確かさ_名古屋港（ラップ率100%，スワ幅90°，120°，130°）

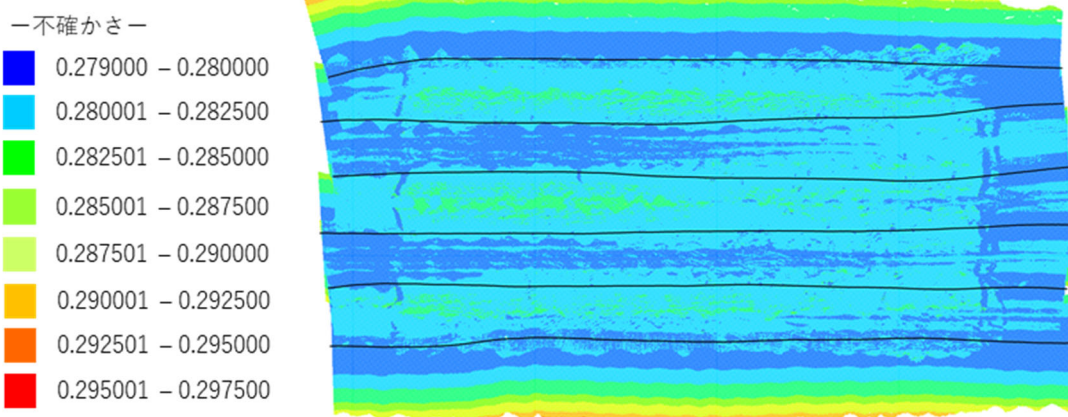
— 航跡(スワ幅90° ラップ率100%)



— 航跡(スワ幅120° ラップ率100%)



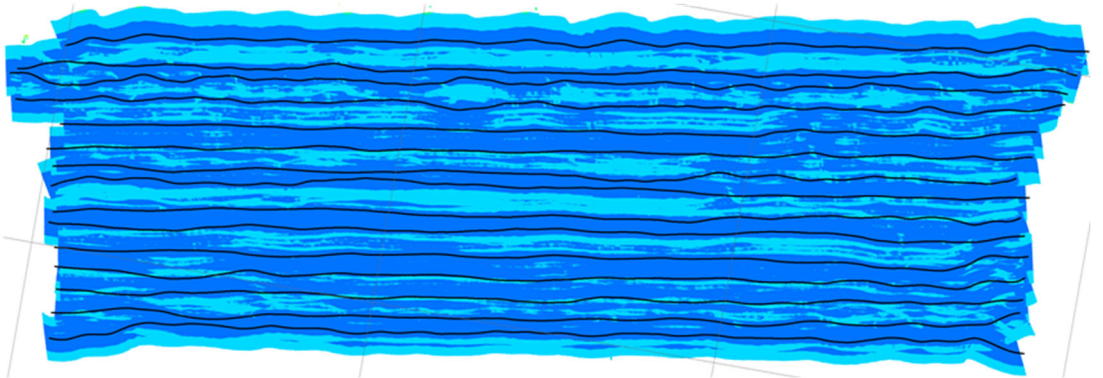
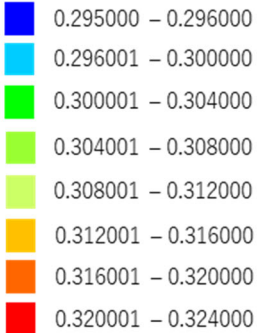
— 航跡(スワ幅130° ラップ率100%)



付録E.2 点群データの不確かさ 刈田港 (ラップ率100%, スワス幅90°, 120°, 130°)

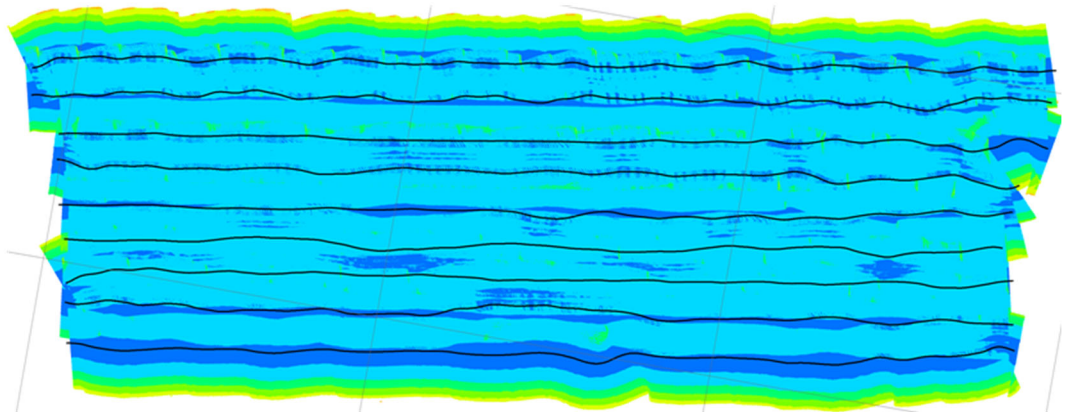
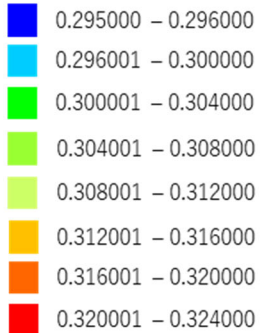
— 航跡(スワス幅90° ラップ率100%)

—不確かさ—



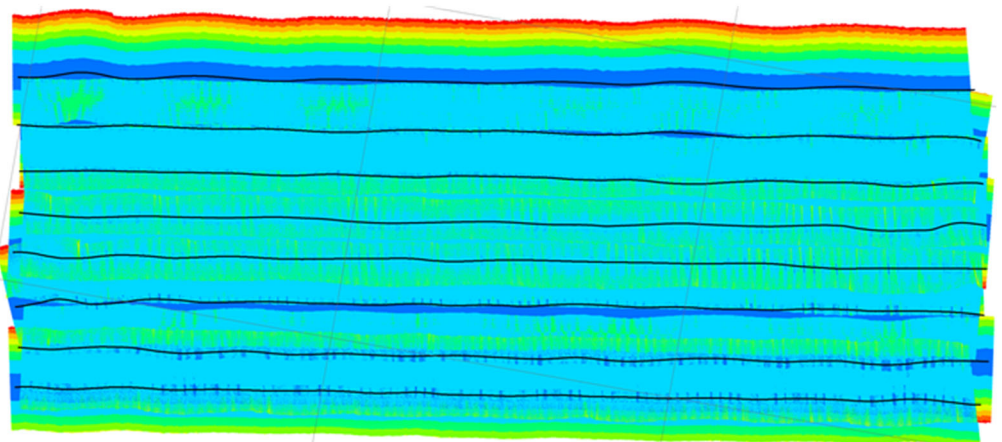
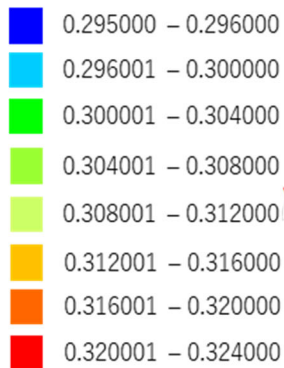
— 航跡(スワス幅120° ラップ率100%)

—不確かさ—



— 航跡(スワス幅130° ラップ率100%)

—不確かさ—



国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1200

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.1200

ICT浚渫工の生産性向上に向けた出来形測量・水路測量の作業効率化に関する検討

March 2022