

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1079

July 2019

ICT浚渫工の導入に伴う浮泥堆積域における  
マルチビーム測深の効率化に関する検討

坂田憲治・井山繁

A Study on Efficient Sounding Method of Multibeam Echo Sounder in the Fluid Mud Area  
at ICT Dredging

Kenji SAKATA, Shigeru IYAMA

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浚渫工の導入に伴う浮泥堆積域における マルチビーム測深の効率化に関する検討

坂田憲治\*・井山 繁\*\*

## 要 旨

将来の担い手不足の課題等に対応するため、国土交通省では、2015年度よりあらゆる建設生産プロセスにおいて生産性を向上させる取組であるi-Construction施策を実施している。港湾分野においても、必要な基準を整備した上で、2017年度よりマルチビーム測深による3次元データを活用したICT 浚渫工を開始している。

しかし、海底面に堆積する泥のうち、浮遊状態から堆積状態にある浮泥が堆積する海域でマルチビームやシングルビームの音響測深を実施する場合、音波の周波数を高く設定するほど、音波が浮泥層上面で反射され浅く計測されてしまう場合がある。ICT浚渫工の導入に伴い、従来のシングルビーム測深からマルチビーム測深に変更され、測深精度の向上等の観点から周波数も200kHzから400kHzに変更される。そのことにより、浮泥が堆積する海域では、音響測深による海底面が浅く観測され、必要水深の見かけ上の不足やそれに伴う浚渫の新たな必要性の問題が生じる恐れがある。

周波数400kHzのマルチビーム測深により、従来の周波数200kHzのシングルビーム測深による海底面の推計が可能となれば、上記問題は生じないが、現在そのような手法は確立されておらず、また、浮泥層厚の増加に伴う周波数200kHzと400kHzにより観測される海底面の差の変化についても、十分把握されていない。

そこで、本研究では、ICT浚渫工の導入に伴う浮泥堆積域におけるマルチビーム測深の効率化を目的とし、ICT浚渫工における浮泥の影響がもたらす問題点を把握すると共に、浮泥が十分堆積する海域事例として東京湾を選定し現地観測を行い、周波数200kHzと400kHzによる観測海底面の違いを把握した。その結果、底泥密度1,200kg/m<sup>3</sup>以下の浮泥が30cm程度生じる内湾海域で深浅測量を実施する場合、周波数200kHzと400kHzによる観測海底面の具体的な差は10cm程度しか生じないことから、マルチビームのみによる測深で対応可能であることを提案した。

**キーワード**：ICT浚渫工，浮泥，マルチビーム，周波数，観測海底面，東京湾

---

\*港湾研究部主任研究官

\*\*港湾研究部港湾施工システム・保全研究室長

# A Study on Efficient Sounding Methodology of a Multibeam Echo Sounder in Fluid Mud Area Undergoing ICT Dredging

**Kenji SAKATA\***  
**Shigeru IYAMA\*\***

## Synopsis

Started by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport in fiscal 2015, “i-Construction” aims to improve productivity in all construction processes and to resolve the labor shortage. “ICT dredging” (harbor construction) in the port and harbor field, ongoing since fiscal 2017, aims to improve productivity by utilizing the 3D data of multibeam echo sounding.

But the seabed surface observed by a multibeam echo sounder may not be the same seabed surface observed by a singlebeam echo sounder but rather the top of the fluid mud. There also may be other new problems, such as the apparent lack of water depth and the additional need of dredging with the change of the sounding frequency from the 200kHz of a singlebeam echo sounder to the 400kHz of a multibeam echo sounder.

Such problems might not occur if the seabed surface observed by a single beam echo sounder is also predicted by a multibeam echo sounder. The sounding methodology is not yet established and the change in the seabed surface observed by echo sounder with the increase of fluid mud is not clearly grasped.

In this study, we grasped the specific problems caused by fluid mud and the change in the seabed surface observed by echo sounder with the change of sounding frequency from 200kHz to 400kHz in the fluid mud area undergoing ICT dredging through field measurements in Tokyo Bay. As a result, we proposed that the sounding method in the inner bay in which fluid mud with a density  $1,200\text{kg/m}^3$  or less deposits about 30cm is adequate with a multibeam echo sounder.

**Key Words** : ICT dredging, fluid mud, multibeam echo sounder, frequency, seabed surface, Tokyo Bay

---

\*Senior Researcher, Port and Harbor Department

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

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. ICT 浚渫工におけるマルチビーム測深の導入.....	2
2.1 ICT 浚渫工におけるマルチビーム測深の導入.....	2
2.2 マルチビーム測深における測深性能及び周波数.....	3
2.3 ICT 浚渫工におけるマルチビーム測深の導入効果に関するアンケート分析.....	4
2.4 水路測量における音響測深.....	5
3. 浮泥堆積域における浮泥の影響がもたらす問題点.....	6
3.1 浮泥の概要.....	6
3.2 浮泥堆積域における音響測深の周波数による観測海底面の違い.....	6
3.3 船舶の航行上支障が生じる水深と音響測深による観測海底面との関係.....	6
3.4 アンケート調査による ICT 浚渫工における浮泥の影響がもたらす問題点の把握.....	7
4. 東京湾における現地観測及び考察.....	9
4.1 現地観測の概要.....	9
4.2 観測海底面差に関する現地観測結果の分析.....	10
4.3 浮泥堆積域におけるマルチビーム測深の効率化.....	14
5. まとめ.....	14
6. あとがき.....	14
謝辞.....	15
参考文献.....	15
付録 A マルチビーム測深機による測深手法に関する検討会 開催概要及び関係者一覧.....	16
付録 B ICT 浚渫工等における浮泥の影響がもたらす問題点に関する アンケート調査票及び集計.....	17
付録 C 柱状採泥結果.....	21
付録 D 航走観測結果（測線 NS-2, NS-3, EW-1, EW-2）.....	23



## 1. はじめに

建設業においては、他産業に比べ技能労働者の高齢化が著しく、担い手不足が喫緊の課題<sup>1)</sup>となっており、また依然として労働災害が多いことなどから、国土交通省では、それら課題に対応するため、2015年度より、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生産性を向上させる取組であるi-Construction施策を実施している<sup>2)</sup>。

港湾分野においても、2017年度より、ICTを活用するICT浚渫工（港湾）（以下「ICT浚渫工」という。）を実施している<sup>3)</sup>。施工プロセスの①3次元起工測量、②3次元数量計算、③3次元出来形測量、④3次元データの納品の各段階においてICTを活用し、2018年度からはさらに⑤ICTを活用した施工を追加し実施している。また、ICT浚渫工を実施する上で基準類が未整備だったため、モデル工事の検証結果を踏まえ、国土交通省港湾局において、「マルチビームを用いた深浅測量マニュアル（浚渫工編）」（以下「深浅測量マニュアル」という。）等の6つの基準類と積算基準<sup>4)</sup>を2017年3月に策定した。ICT浚渫工に用いるマルチビーム音響測深機（以下「マルチビーム」という。）の基本性能（周波数、測深ビーム幅など）は、上記深浅測量マニュアルの2017年度改定時に一旦規定されたが、港湾におけるICT導入検討委員会（以下「ICT導入検討会」という。）での議論を踏まえ、2018年度改定時には、「使用するマルチビームは、浚渫結果を適切に表現できる性能を保有する機器とする」と必要な性能の規定に改められた<sup>5)</sup>。ただし、現在、マルチビームを用いて測深する際の音波の周波数は400kHzが多く用いられており、そのため、ICT浚渫工の導入に伴い、周波数は従来のシングルビーム音響測深機（以下「シングルビーム」という。）で多用されていた200kHzから400kHzに変更されることとなる。

一方、浮泥が堆積する海域でマルチビームやシングルビームによる音響測深を実施する場合、周波数を高く設定するほど、音響ビームが浮泥層上面で反射され、浅く計測されてしまい（図-1.1）、併せて船舶の航行上支障が生じる水深と一致しない場合がある。なお、ここでは、海底に堆積する底泥のうち、浮遊状態から堆積状態にあるものを浮泥<sup>6)</sup>と呼び、また、船舶の航行上支障が生じる水深とは、航行上支障が生じる、底泥の湿潤密度（以下「底泥密度」という。）の限界値（PIANC, 2014）を示す水深のことであり、我が国ではまだ設定されていないが、ベルギー等では模型実験結果を踏まえ、底泥密度1, 200kg/m<sup>3</sup>と設定されている。

船舶の航行上支障が生じる水深との不一致については、現在、我が国では海上保安庁告示及び水路測量業務準則に基づき、原則、水深は音響測深を使用して測定した水深であることから、音響測深による海底面（以下「観測海底面」という。）が、航行上支障が生じる水深より浅く観測されてしまうと、当該観測海底面がさらに設計水深も満たさない場合には、航行上支障がないにも関わらず、設計水深を確保するための浚渫を実施せざるを得ない可能性が生じる。そのため、例えば、船舶の航行上支障が生じる水深位置を海底面と定義され、音響測深による当該海底面を計測あるいは推計することが可能となれば、浮泥の船舶航行への影響を考慮した合理的な浚渫等、より効率的な水深管理が可能となる。しかし、そのためには現在、密度計による物性値測定を別途実施する必要がある、作業コストの増大等につながる場所である。したがって、より効率的な水深管理に向け、音響測深による船舶の航行上支障が生じる水深を推計可能とする測深手法の構築が今後望まれる。

また、音響測深の周波数の変更に伴い観測海底面が浅く観測されることについては、ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の導入に伴い、まさに生じる事象である。周波数が従来の200kHzから400kHzへ変更されることに伴い、浮泥が堆積する海域では、観測海底面が浅く観測され、これまで必要水深を満たしていた海域でも、場合によっては必要水深よりも浅く計測されてしまい、従来不要であった浚渫が新たに必要となる問題が生じる恐れがある（図-1.2）。

周波数400kHzのマルチビームを用いて、従来の周波数200kHzのシングルビーム測深による観測海底面を推計することが可能であれば、上記問題は生じないところであるが、現在、そのような手法は確立されていない。また、浮泥層厚の増加に伴い、周波数200kHzと400kHzによる観測海底面差がどれくらい拡大するかも不明である。

そこで、本研究では、上記課題のうち、現在国土交通省で取り組んでいるi-Construction施策を推進する上で

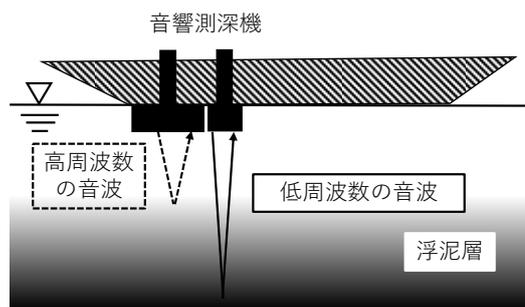


図-1.1 音波の周波数の違いによる観測海底面の違い

生じうる課題の早期解決に資することを目的とし、音響測深の周波数の変更に伴う課題を今回の検討対象とし、ICT浚渫工における浮泥の影響がもたらす問題点を把握すると共に、東京湾東航路周辺の海域をケーススタディ対象とした現地観測を通じて、浮泥が十分堆積する海域における周波数の違いによる観測海底面の差を具体的に把握し、周波数400kHzのマルチビーム測深を用いて従来

の周波数200kHzのシングルビーム測深による観測海底面を把握するための実務的な対応策について検討した。検討にあたっては、2018年度に設置したマルチビーム測深機による測深手法に関する検討会（以下「マルチビーム検討会」という。）により収集されたデータや現地観測結果を活用した。マルチビーム検討会の委員は、浮泥層におけるデータ分析やi-Construction施策との関係等を図る観点から、九州大学中川教授や東京工業大学岩波教授を始めとする学識者等の関係各位により構成されている。マルチビーム検討会の開催概要並びに関係者一覧は付録A に示す。

本研究の構成は次のとおりであり、2章では、ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の導入について、3章では、浮泥堆積域における浮泥の影響がもたらす問題点を、ICT浚渫工受注者を対象としたアンケート調査結果と共に述べ、4章では、東京湾における現地観測を通じて、周波数の違いによる観測海底面の差に関する分析を行い、そして、5章でまとめを示している（図-1.3）。

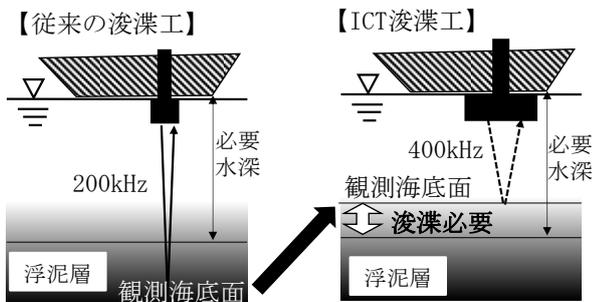


図-1.2 音波の周波数の変更に伴う問題のイメージ

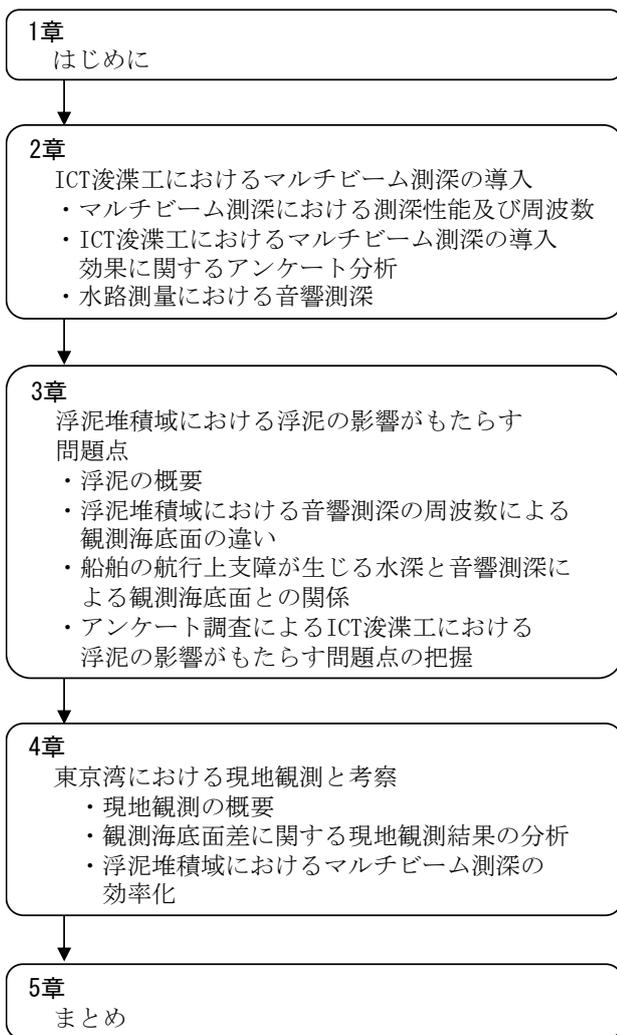


図-1.3 本検討の構成

## 2. ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の導入

### 2.1 ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の導入

マルチビーム測深は、船の進行と共に多数の音響ビームを海底に扇状に照射する測深システムであり、これまで一般的に用いられてきたシングルビーム測深が送受波器直下の水深情報を線で測深しているのに対し、面的に詳細な海底地形を測深可能なため、全域を対象とする深淺測量が可能となる（図-2.1）。

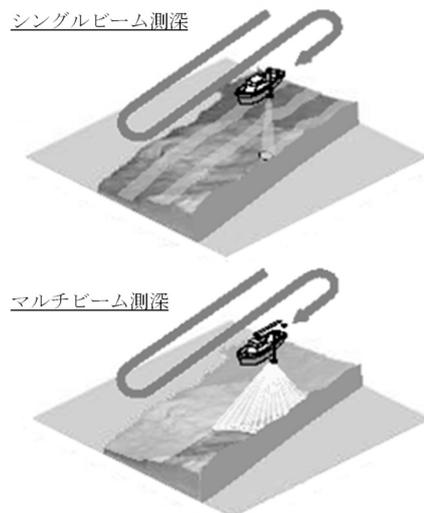


図-2.1 シングルビーム測深とマルチビーム測深のイメージ<sup>5)</sup>

マルチビーム測深によって取得された3次元データを設計・施工計画、施工、検査、維持管理の各段階で活用することにより、作業の効率化や品質、安全性の向上につながる(図-2.2)。マルチビーム測深などによる3次元データの活用により期待される具体的な効果を表-2.1に示す。

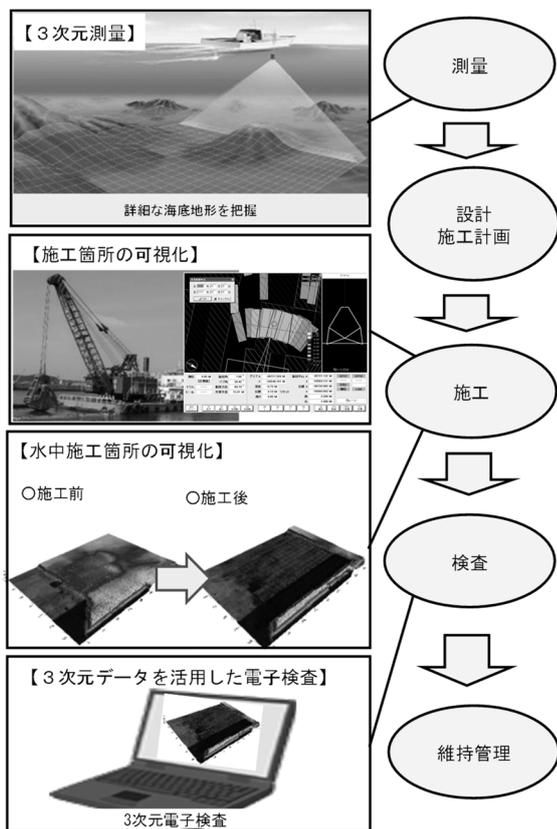


図-2.2 ICT浚渫工における各段階のICTの活用<sup>7)</sup>

表-2.1 3次元データの活用により期待される具体的な効果

<b>設計・施工計画段階</b>
・ 現況地形の3次元データから施工数量を自動算出
<b>施工段階<sup>8)</sup></b>
・ 水中施工箇所の可視化による施工の効率化、品質の向上
・ 危険箇所の可視化による安全性向上
・ 作業方法の標準化、作業効率の改善による工期の短縮(費用の低減、人員の削減)
・ 工期短縮による作業船の効率的な使用
・ 潜水士の危険作業減少による災害リスクの低減等
<b>検査段階</b>
・ 3次元データを活用した電子検査
・ 完成状況の可視化
<b>維持管理段階</b>
・ 経年変化等の確認に活用
・ 埋没経過状況の把握

## 2.2 マルチビーム測深における測深性能及び周波数

深浅測量マニュアルにおいて、マルチビーム測深に関する測深性能や測深精度が規定されている。2016年度に策定された後、2017年度にICT浚渫工試行工事等を踏まえ一部改定され、2018年度にもICT浚渫工試行工事や港湾におけるICT導入検討会での議論を踏まえ、再び改定され、現在、上記測深性能等は表-2.2の通り規定されている。なお、測深性能の達成率(例えば、99%以上)とは、1.0m平面格子当たり点群が3点以上取得された格子数(図-2.3)の全体格子数に対して占める割合を意味する。

表-2.2 マルチビーム測深の測深性能と測深精度<sup>5)</sup>

2016年度初版	
測深性能(取得点密度)	I. 0.5m平面格子に3点以上 II. 達成率90%以上 III. 未達成平面格子の連続不可
測深精度	i. ±10cm
2017年度改定版	
測深性能(取得点密度)	I. 1.0m平面格子に3点以上 II. 達成率90%以上 III. 未達成平面格子の連続不可
測深精度	i. ±10cm ii. 達成率90%
2018年度改定版	
測深性能(取得点密度)	I. 1.0m平面格子に3点以上 II. 達成率99%以上
測深精度	i. 平成14年度海上保安庁告示第102号で定められた通りとする。

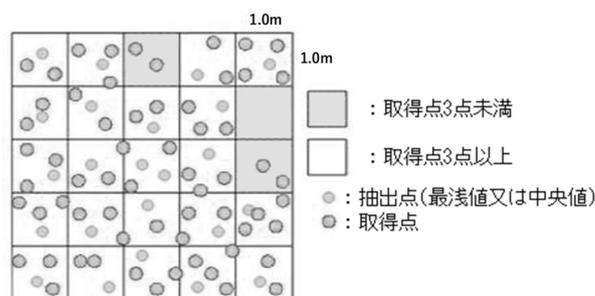


図-2.3 取得点密度の確認<sup>5)</sup>

また、平成14年度海上保安庁告示第102号で定められた測深精度とは、当該告示の別表第二<sup>9)</sup>に海域に応じて記載されている算定式によるものであり、下記(式2.1)~(式2.3)で表される。(式2.1)は、特級水域である東京湾中央水域、備讃瀬戸水域、関門水域において適用され、(式2.2)は、1a級水域と呼ばれる、特級水域を除く殆どの港湾、あるいは1b級水域と呼ばれる、特級水域又は1a級水域を除く水深100m以浅の水域を対象に適用され、(式2.3)は2級水域と呼ばれる、水深100m以

深の水域を対象に適用されるものである。

$$\sqrt{0.25^2 + (0.0075d)^2} \quad [\text{m}] \quad (\text{式 2.1})$$

d : 水深 [m]

$$\sqrt{0.5^2 + (0.013d)^2} \quad [\text{m}] \quad (\text{式 2.2})$$

d : 水深 [m]

$$\sqrt{1^2 + (0.023d)^2} \quad [\text{m}] \quad (\text{式 2.3})$$

d : 水深 [m]

また、マルチビームの基本性能については、2017年度改定版の深淺測量マニュアルでは周波数（400kHz以上）や測深ビーム幅（1.0° × 1.0° 以下）等の具体的な機器の仕様が規定されていたが、その後のICT導入検討会における議論を踏まえ、2018年度改定時に「使用するマルチビームについては、浚渫結果を適切に表現できる性能を保有する機器とする」と必要な性能の規定に改められた。ただし、現在マルチビームの周波数は浮泥の堆積の有無に関わらず、400kHzが一般的である。

### 2.3 ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の導入効果に関するアンケート分析

マルチビーム測深を導入したことによる効果について、2018年度に国土交通省港湾局がICT浚渫工試行工事44件の受注者を対象として、アンケート調査を実施している（表-2.3）。

表-2.3 マルチビーム測深導入効果等に関するアンケート調査<sup>3)</sup>

アンケート対象工事：
・ 2018年度に実施中または実施済のICT活用試行工事（44件）
アンケート対象者：
・ ICT浚渫工試行工事の受注者
アンケート調査項目（一部抜粋）：
・ 工事の発注方式（発注者指定型，施工者希望型）
・ 施工者希望型の選択理由
・ マルチビーム測深の導入効果 (1) 機器の調達方法，(2) 機器の名称・型式， (3) 施工規模，(4) 導入効果
・ 従来方式（シングルビーム）との作業効率の比較 (1) 時間，(2) 人数，(3) 費用（人工数）

アンケート調査結果として、まず、施工者希望型においてICT活用工事を選択した理由として、「施工品質の向上」、「情報化施工の経験・人材育成」、「総合評価での加点」及び「工事成績評定での加点」が数多く挙げられ、マルチビーム測深の導入効果についても、同様に「施工品質の向上」、「情報化施工の経験・人材育成」及び「情報の共有化」等の意見が挙げられていた（図-2.4、図-2.5）。なお、施工者希望型とは、受注者の希望によってICT活用工事を実施するものであり、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。発注者指定型とは、発注者の指定によってICT活用工事を実施するものである。

しかし、従来方式であるシングルビーム測深との作業効率に関する比較分析については、現時点で(1) 時間、(2) 人数、(3) 人工数の殆どいずれの項目においても、平均値は増加している結果となった（図-2.6～図-2.8）。例えば、平均作業時間については、⑦3次元設計データの作成（+22.8h）や⑩水路測量の資料作成（+13.9h）の増加時間が多くっており、その理由として、⑦3次元設計データの作成では「従来方式にない作業」、⑩水路測量の資料作成では「資料作成にかかる手間（データ・検証項目の増加）」が挙げられていた。一方、④計測（-3.6h）と⑨出来形管理図表の作成（-0.1h）の項目において時間が減少しており、その理由として、④計測では「測線間隔の拡大（測線減）」、⑨出来形管理図表の作成では「断面図の作成がない」「ソフトの活用」が挙げられていた。

2018年度、当該課題を踏まえ、ICT浚渫工の生産性向上に寄与するため、取得点密度の適正化を検討し、表-2.2に示す2018年度改定がなされたところである。

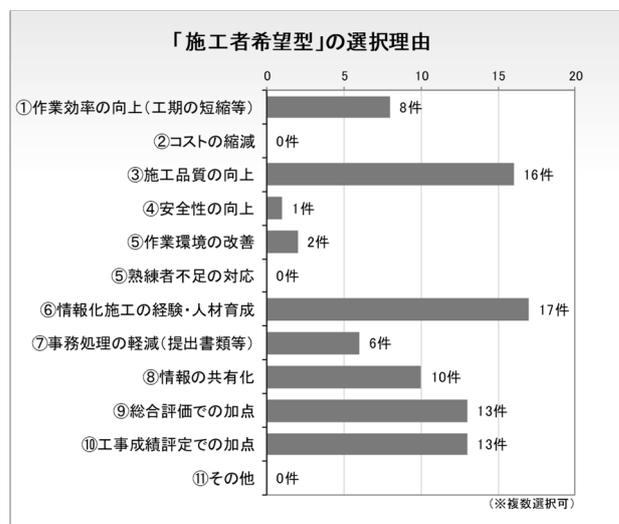


図-2.4 施工者希望型の選択理由<sup>3)</sup>

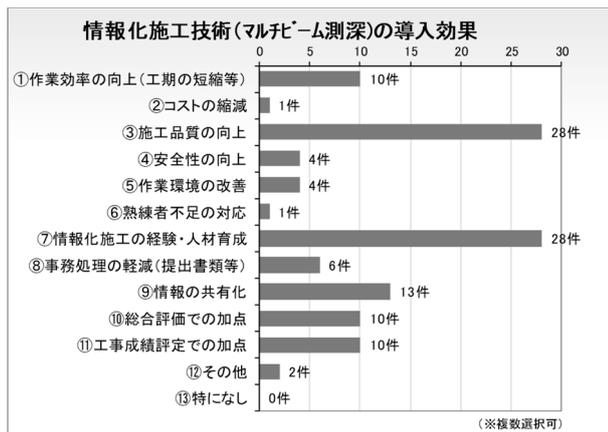


図-2.5 マルチビーム測深の導入効果<sup>3)</sup>

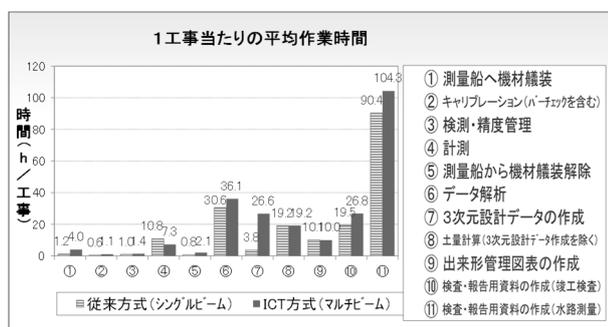


図-2.6 シングルビーム測深との作業効率の比較(時間)<sup>3)</sup>

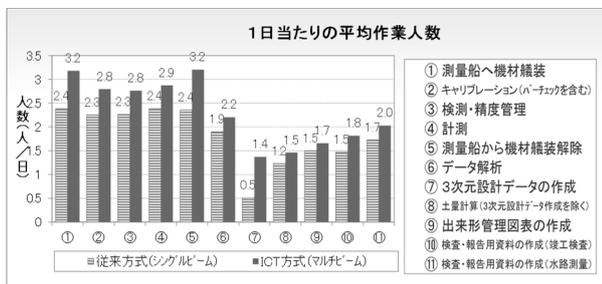


図-2.7 シングルビーム測深との作業効率の比較(人数)<sup>3)</sup>

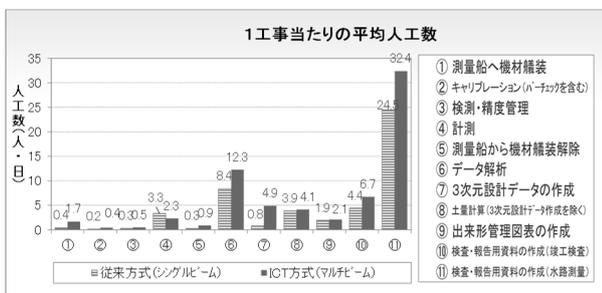


図-2.8 シングルビーム測深との作業効率の比較(人工数)<sup>3)</sup>

一方、浮泥が堆積する海域では、3.4で後述するように④計測と⑥データ解析が一般海域(浮泥が堆積しない海

域)よりも時間を要し、ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の導入による周波数の変更(200kHzから400kHzへ)に伴い、浮泥の影響範囲が増加するため、さらに④計測と⑥データ解析が増加することが想定される。

当該アンケートでは、浮泥に関する調査は実施していないため、本研究において、浮泥堆積域での浮泥の影響がもたらす問題点を具体的に別途アンケート調査で把握することとした。

## 2.4 水路測量における音響測深

水路測量業務準則施行細則<sup>10)</sup>において、「スワス音響測深機を使用する場合で、次の海域(例えば、1a級以上の水域など)においては、原則としてシングルビーム音響測深機を併用するものとする」と規定されている。マルチビーム測深は、スワス音響測深機を使用した測深方法の一つであり、上記より、港湾の海域において、マルチビーム測深を実施する場合にも、原則シングルビームを併用することが必要となる。当該併用が規定されている理由の一つとして、デジタルデータを出力するマルチビーム測深に対して、アナログデータを出力するシングルビーム測深は、測深記録が積算効果により連続した線のような形となり、浮遊物や魚群あるいは海底の鉄パイプ等と、水深の判別が容易<sup>11)</sup>であることが挙げられる。

しかし、少なくとも浚渫直後の海域では、海底面が明らかに平坦であり、鉄パイプなどの突起物が埋没している可能性はほとんど考えられないため、当該海域における測深はマルチビームによるもののみとし、シングルビーム測深の併用の解消が望まれる。

ICT浚渫工では、従前の浚渫工において竣工検査と水路測量用に重複取得していた測深データをマルチビームの測深データに統一し、海図補正にも同データを使用することを可能とすることにより、作業の効率化を目指している。したがって、ICT浚渫工における生産性向上のためにも、少なくとも浚渫直後の海域においては、当該シングルビームの併用の解消が望ましい。

### 3. 浮泥堆積域における浮泥の影響がもたらす問題点

#### 3.1 浮泥の概要

浮泥の主な輸送特性として、堆積の他、波浪等の外力による巻き上げや水平移流が挙げられる（図-3.1）。これまで、底泥の輸送特性に関する研究は複数なされており、例えば、中川ら<sup>12) 13)</sup>は東京湾奥部や有明海を対象とした現地データの解析を通じた、高波浪による底泥の濁度上昇への影響や大潮期における底泥の巻き上げの把握、さらには、航路域への土砂侵入過程における底泥の移流現象の重要性を信濃川河口の新潟港で河口からの土砂の堆積特性の実態把握を通じて把握している。

本研究では、ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の導入に伴い音波の周波数が従来の200kHzから400kHzに変更され、観測海底面が浅くなることにより、より一層生じうる浮泥の輸送特性がもたらす具体的な問題点を、3.4のICT浚渫工試行工事の受注者へのアンケート調査を通じて把握することとした。

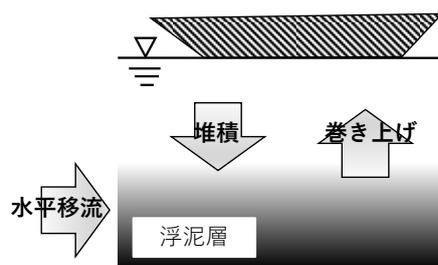


図-3.1 浮泥の輸送特性

#### 3.2 浮泥堆積域における音響測深の周波数による観測海底面の違い

浮泥堆積域における音響測深の周波数による観測海底面の違いについては、これまで数多くの現地観測調査が実施されており、例えば、古くは1960年代に木原ら<sup>14)</sup>が複数の周波数による観測海底面の違いを現地調査から把握しており、また近年でも森ら<sup>15)</sup>がマルチビーム音響測深機の周波数200kHzと400kHzの違いにより観測海底面差10cm程度、また周波数10kHzと200kHzの違いにより30cm程度の観測海底面差が生じることを示している。なお、周波数10kHzと200kHzの違いによる観測海底面差を上記既往文献では、浮泥層厚としている。

いずれの現地観測においても、音響測深の周波数が高くなるほど、観測海底面は浅く計測される結果となっている。周波数に応じて観測海底面に違いが生じるのは、周波数が高いほど、粒子に反射しやすく、また浮泥層内において音響ビームのエネルギーが減衰され、反射距離が

減少してしまうためと思われる。今後、ICT 浚渫工が進められ、従来よりも周波数が高いマルチビーム測深が導入されることに伴い、さらに観測海底面が浅くなるのが想定され、浮泥の輸送特性による問題が生じやすくなると考えられる。

しかし、これまで周波数の違いにより観測海底面の差が生じることは把握されているが、浮泥の層厚が増加することに伴い、上記観測海底面差がどれだけ変化するかについては十分把握されていない。

周波数 400kHz のマルチビーム測深を用いて、従来の周波数 200kHz のシングルビーム測深による観測海底面を把握するにあたっては、まず上記関係を把握することが必要である。

#### 3.3 船舶の航行上支障が生じる水深と音響測深による観測海底面との関係

船舶の航行上支障が生じる水深とは、航行上支障が生じる底泥密度の限界値（PIANC, 2014）を示す水深のことであり、例えば、ベルギー等では模型実験結果を踏まえ底泥密度 $1,200\text{kg/m}^3$ と設定されている（表-3.1）。底泥の密度分布は海域に応じて異なり、当該水深を音響測深機によって測深することは現在困難であることから、密度計による物性値測定を別途実施する必要があり、作業コストの増大につながる。したがって、船舶の航行上支障が生じる水深を効率的に把握するためには、今後、当該水深を推計可能な音響測深手法の構築が望まれ、今後の課題である。

また、浮泥堆積域におけるマルチビーム（400kHz）、シングルビーム（200kHz）による観測海底面と船舶の航行上支障が生じる水深の相対関係は、既存知見<sup>6), 15)</sup>などを踏まえると、測深誤差 $\pm 10\text{cm}$ の範囲でばらつきはあるものの、基本的にマルチビーム（400kHz）による観測海底面、シングルビーム（200kHz）による観測海底面、底泥密度 $1,200\text{kg/m}^3$ の水深位置（図-3.2）の順に深くなると考えられる。水路測量業務準則施行細則<sup>10)</sup>において、水深に応じて表-3.2、表-3.3のようにマルチビームとシングルビームの周波数が規定されており、200kHzと400kHzは同規定内であることから、船舶航行の安全性の観点からも、マルチビーム（400kHz）とシングルビーム（200kHz）による観測海底面が底泥密度 $1,200\text{kg/m}^3$ の水深位置より浅くなる関係は成立すると考えられる。したがって、マルチビーム測深の導入に伴い、観測海底面が変化したとしても、マルチビーム（400kHz）とシングルビーム（200kHz）のいずれの観測海底面も、船舶が航行する上で支障が生じる事は想定されないとと思われる。

表-3.1 海外における船舶の航行上支障が生じる水深  
(PIANC Report No, 121(2014) より)

	船舶の航行上支障が生じる水深の定義
ベルギー	底泥密度1,200kg/m <sup>3</sup> を航海上の海底面とする。
フランス	同上。
オランダ	同上。
ドイツ	剪断強度10Paを航海上の海底面とする。 当該海底面は、底泥密度1,100~1,250kg/m <sup>3</sup> に相当する。
アメリカ	特に基準等はない。

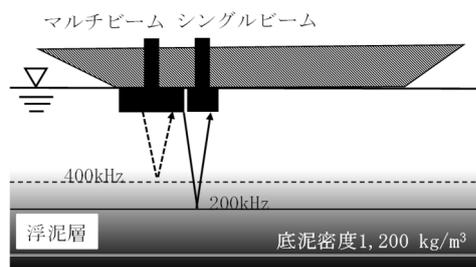


図-3.2 200kHz, 400kHzによる観測海底面と底泥密度  
1,200 kg/m<sup>3</sup>位置の相対的關係性

表-3.2 シングルビームの基本性能 (周波数)<sup>10)</sup>

深度	周波数
水深31m未満	90~230kHz.
水深31m~100m未満	30~230kHz.
水深100m以上	10~230kHz.

表-3.3 マルチビームの基本性能 (周波数)<sup>10)</sup>

深度	周波数
水深31m未満	70~455kHz.
水深31m~100m未満	26~455kHz.
水深100m以上	10~455kHz.

### 3.4 アンケート調査によるICT浚渫工における浮泥の影響がもたらす問題点の把握

#### (1) アンケート調査の概要

ICT浚渫工におけるマルチビームの導入に伴い、より一層生じる浮泥の影響がもたらす具体的な問題点を把握するため、アンケート調査を実施した。2019年2月に2018年度ICT浚渫工試行工事における受注者を対象に、メールでアンケート調査票を配布し、ICT浚渫工試行工事等における浮泥の影響がもたらす問題点等について質問を実施した(表-3.4)。ICT浚渫工試行工事のうち回答があった34件について分析した。具体的なアンケート票は付録Bに示す。

表-3.4 ICT浚渫工等における浮泥の影響がもたらす  
問題点に関するアンケート調査

アンケート対象工事：
・ 2018年度実施中または実施済のICT活用試行工事
アンケート対象者：
・ ICT浚渫工試行工事の受注者
アンケート調査項目 (一部抜粋)：
・ ICT浚渫工試行工事における浮泥の有無， ・ 浮泥による工事への影響， ・ 浮泥の具体的な確認方法， ・ ICT浚渫工試行工事以外の過去工事も含めた浮泥の影響がもたらす問題点

#### (2) アンケート結果

a) ICT 浚渫工試行工事における浮泥の有無，浮泥による工事への影響，浮泥の確認方法

今回浮泥が確認されたのは、34件中4件(図-3.3)であった。また、4件で浮泥が工事に大きく影響したという回答であり、残りの30件は、浮泥が確認できない(16件)、または不明(14件)という回答であった。

また、浮泥の具体的な確認方法(複数回答可)については、マルチビームによる観測海底面とレッド測深(紐をつけた鉛塊を投下して測深する方法)の停止位置との比較や潜水士による潜水目視、またその他回答として浚渫土砂の性状(ヘドロ状)から判断している事例や、測深結果と過去の測深実績との比較から判断している事例等が挙げられた(図-3.4)。水路測量業務準則施行細則<sup>10)</sup>において、浮泥の調査方法は音響測深機及びレッドを用いて、またはその他の方法により行うものとしてされているが、今回調査ではその他の方法により調査されている事例が多い結果となった。

#### b) 浮泥の影響がもたらす問題点

浮泥の影響がもたらす具体的な問題点について、ICT浚渫工試行工事以外の過去工事も含めて確認すると、表-3.5及び表-3.6に示すとおり、測量段階と施工段階の各段階における複数の意見が挙げられた。なお、その他意見も含め、詳細なアンケートの集計結果は付録Bに示す。

まず、測量段階においては、浮泥の影響により測深作業自体、測深結果の解析に時間を要する旨の意見が挙げられた。工事完了直後に測深すると浅い水深を取得してしまうため、浮泥が着底するまで待機する必要がある、あるいは、浮泥表層で観測されるデータと表層より深い地点で観測されるデータが混在するため解析に時間を要するというものであった。当該問題点は、3.1の輸送特性

のうち、堆積、巻き上げ、水平移流のいずれにも起因するものであり、また、音響測深の周波数により観測海底面が異なることにも起因するものであった。

また、施工段階においては、石材の追加投入や余掘、浚渫区域周辺の浚渫の追加工事を余儀なくされた旨の意見と共に、浮泥が舞い上がらないよう低速による曳航を余儀なくされたり、施工区域外からの浮泥の流れ込みにより水深確保が困難であったなどの意見が挙げられた。後者の意見については、3.1の輸送特性のうち、巻き上げ及び水平移流に大きく起因するものであった。

これらアンケート結果から、浚渫工における浮泥の巻き上げや水平移流等の輸送特性が測深や水深確保等の困難さにつながっており、今後 ICT 浚渫工におけるマルチビーム測深の導入に伴う周波数の変更により、観測海底面の浅く計測された場合には、浚渫時に上記問題点がより一層生じることが想定される。したがって、浚渫工における生産性向上に資するため、浮泥による船舶航行や浚渫土量への影響を考慮した、より効率的な水深管理の必要性があると考える。

表-3.5 測量段階における浮泥の影響による問題点

浮泥の影響をもたらす具体的な問題点	
1	・ 工事完了直後の測深は困難なため、浮泥が沈静化するまで時間が必要である。
2	・ 海底面の判定が困難なため、測深結果の解析に影響が出る。

表-3.6 施工段階における浮泥の影響による問題点

浮泥の影響をもたらす具体的な問題点	
1	・ 捨石投入時、想定以上に沈み込みが生じたため、石材の追加投入を余儀なくされた。
2	・ 掘り残しと判断されないよう、余掘りを行った。
3	・ 浚渫区域周辺の水深が 10cm~20cm 高くなっていたため、掘りに行くことになった。
4	・ 浚渫土砂の運搬時に、浮泥が舞い上がらないよう低速で曳航した。
5	・ 施工区域内を掘削しても、区域外から浮泥が流れ込み、水深の確保が困難な事例があった。

■浮泥とみられる堆積物を確認  
 ▨浮泥とみられる堆積物を確認不能  
 □不明

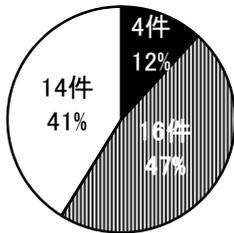


図-3.3 2018年度 ICT 浚渫工試行工事における浮泥の有無

■マルチビームとレッド測深結果の比較  
 ▨潜水目視  
 □その他

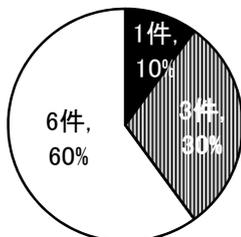


図-3.4 浮泥の確認方法（複数回答可）

## 4. 東京湾における現地観測及び考察

### 4.1 現地観測の概要

#### (1) 観測対象海域の選定

ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の導入に伴い、音波の周波数が従来の200kHzから400kHzへ変更されることに伴う観測海底面の具体的な差を把握し、マルチビーム測深による従来のシングルビーム測深の観測海底面を把握する実務的な対応策を検討するため、既存知見を踏まえ、浮泥が十分堆積していると想定される海域事例として、東京湾の東京東航路周辺海域（図-4.1）を観測対象海域として選定した。

既存文献<sup>15)</sup>において、10kHz-200kHzによる観測海底面の差を浮泥層厚と定義しており、当該海域は、1990～1991年に実施された既存調査<sup>15)</sup>において10kHz-200kHzによる観測海底面差が最大2.0m生じている海域であり（図-4.2）、既存の観測海域（例えば、森ら<sup>15)</sup>は10kHz-200kHzによる観測海底面差が30cm前後生じている地点で観測、海洋調査協会<sup>16)</sup>は当該差が60cm程度生じている地点で観測）よりも差が大きく、浮泥が十分厚く堆積していることが想定される。

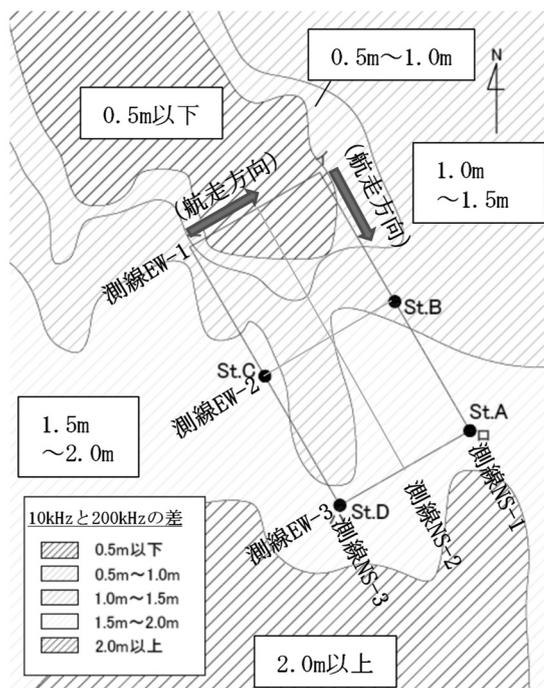


図-4.2 既存調査結果<sup>15)</sup>を用いた、観測対象海域における10kHz-200kHzによる観測海底面の差

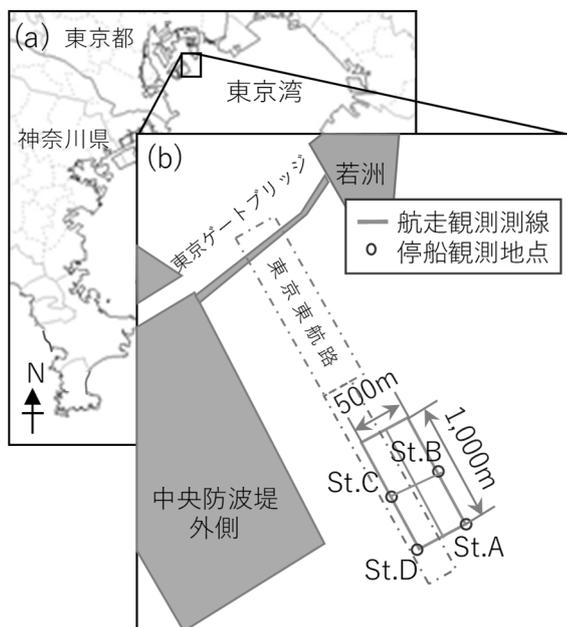


図-4.1 観測対象海域 ((a)東京湾内での観測海域, (b)航走観測測線及び停船観測地点)

#### (2) 観測方法

2018年11月5日～7日の3日間に、東京湾の東京東航路周辺海域において、浮泥が十分堆積する海域における周波数の違いによる観測海底面の差を具体的に把握するため、図-4.1に示す500m×1,000mの計6測線を船舶

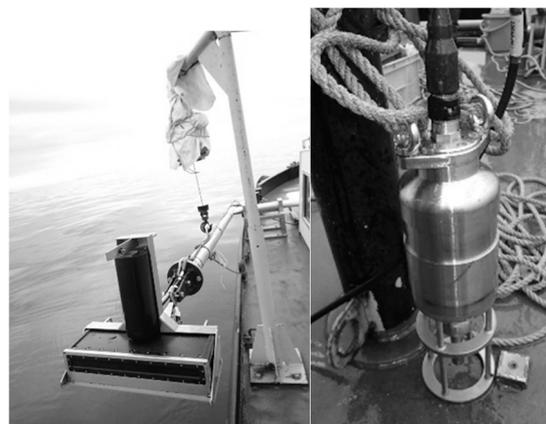


図-4.3 現代式密度計（右写真）とマルチビーム（左写真）

を航行させながら観測する（以下「航走観測」という。）と共に、浚渫された航路内に位置するSt.C, St.Dを含む計4点で船舶を停止させた状態で観測した（以下「停船観測」という。）。

航走観測では、マルチビーム（周波数：400kHz、図-4.3）及びシングルビーム（周波数：200kHzと10kHz）による音響測深を行った。航走観測及び停船観測共に、音響ビームの干渉を防ぐため、同時観測は実施せず、シングルビーム測深を実施した後にマルチビーム測深を実施した。なお、測定位置の水平位置は、深浅測量マニュアルの測

定誤差内のため、同位置とみなした。また、周波数は、今後の実務的な運用を想定し、現在、比較的一般的に使用されている周波数(10kHz, 200kHz, 400kHz)を設定し、マルチビームによる測深データは、測深位置の直下の値を使用した。

また、停船観測では図-4.4に示すように、上記音響測深の他、現地式密度計<sup>6)</sup>(図-4.3)と柱状採泥器による底泥密度の鉛直分布測定及びレッド(底面反力: 0.0187kg/cm<sup>2</sup>)による測深を行った。レッド測深は、錘測とも呼ばれ、鉛の重り(レッド)に索を結んだものを用いて水深を測るものであり、今回水路測量業務準則施行細則に規定されている円盤レッドを用いた。また、現地式密度計は、振動子センサーの振動数変化から周辺媒体の密度を推計するもので、密度と水深を約1秒間隔で同時に測定・記録することが可能である。また、密度の測定範囲と測定精度は各々900~1,500kg/m<sup>3</sup>及び1kg/m<sup>3</sup>である。今回、当該密度計を船上から海底付近まで徐々に降下させ、密度計の自重ではそれ以上沈降不可な地点までの密度を測定した。さらに、柱状採泥器は、長尺の円筒形の採泥管を船上から自由落下させ、貫入可能な深度までの底泥を採取、分析するものであり、今回、外径9cm×長さ1mの自重落下式コアランブラーを用いて採取した試料を持ち帰り、目視から明らかに浮泥と思われる表層部については0.5cm~1.5cmで分画し、それ以降の下層は、5cmピッチで分画した上で密度や性状について分析した。なお、試料の具体的な分析結果や写真は、付録Cに示す。また、柱状採泥の各試料の水深位置は、既往調査結果<sup>17)</sup>をもとに、目視による浮泥層下面がシングルビームによる観測海底面と並ぶように配置した。同一水深における現地式密度計による密度と柱状採泥器による密度に

差が生じた場合には、柱状採泥の値を採用した。なお、当該水深設定や密度設定は、マルチビーム検討会で同様の考え方で整理されている。

#### 4.2 観測海底面差に関する現地観測結果の分析

##### (1) 航走観測結果

マルチビーム測深(400kHz)、シングルビーム測深(200kHz)、シングルビーム測深(10kHz)による測線NS-1と測線EW-3の航走観測結果を、それぞれ点線、実線、二重線で図-4.5、図-4.6に示す。その他測線の航走観測結果は付録Dに示す。

周波数が10kHz, 200kHz, 400kHzと高くなるほど、既往観測結果と同様に観測海底面が浅く計測される結果となった。また、ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の導入に伴い、従前のシングルビーム測深(200kHz)とマルチビーム測深(400kHz)による観測海底面に一定程度の差が生じると想定していたが、両観測海底面の具体的な差

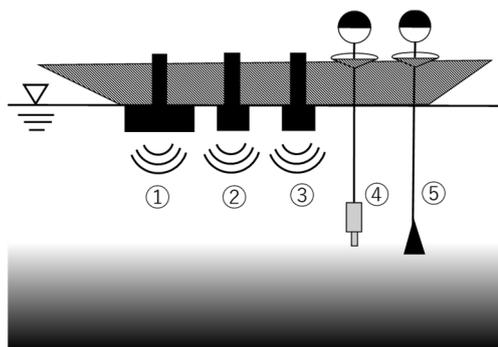


図-4.4 停船観測のイメージ (①マルチビーム測深, ②③シングルビーム測深(10kHz, 200kHz) ④現地式密度計, ⑤レッド測深)

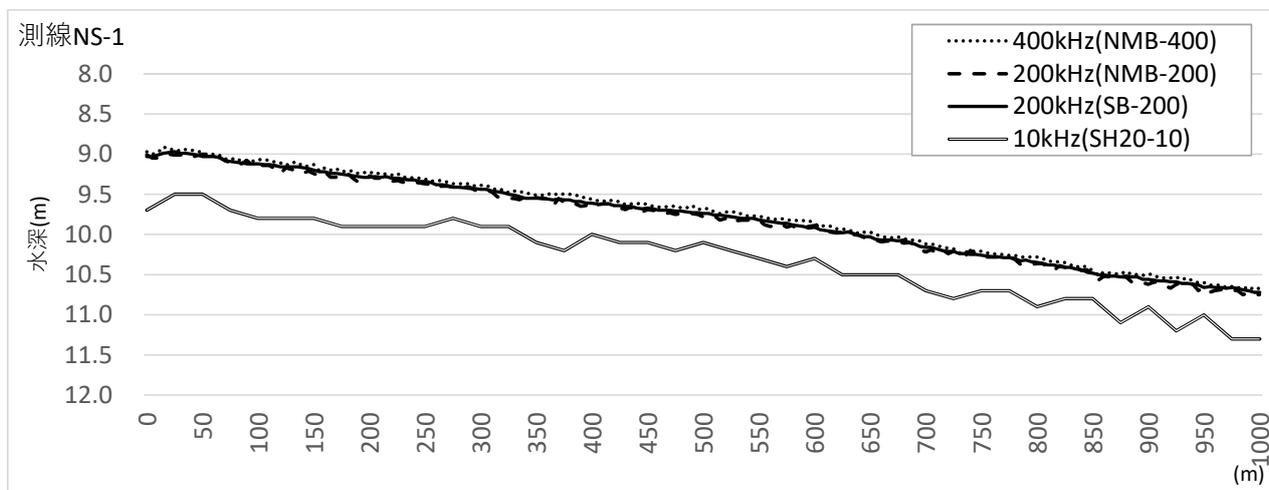


図-4.5 航走観測結果(測線NS-1)

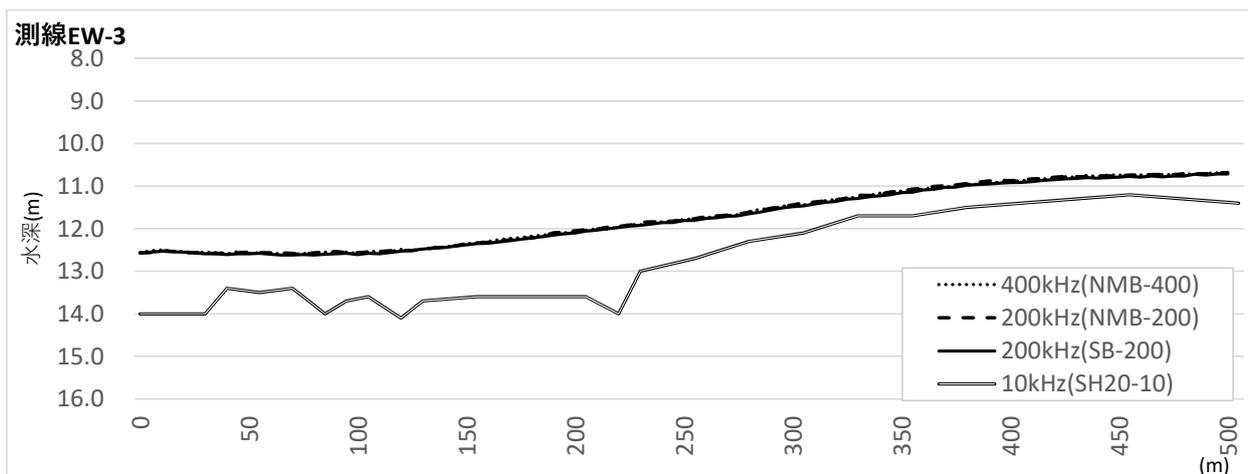


図-4.6 航走観測結果 (測線EW-3)

は10cm程度であった。音響測深機自体の測深精度が、±10cmを限界値とすることを踏まえると、測深精度の範囲内に収まる差異しか生じない結果となった。

また、測線EW-3上を航走観測した際の10kHzと200kHzによる各観測海底面の具体的な差は、航路外で50cm程度、航路内で100cm程度であった(図-4.6)。10kHzと200kHzの観測海底面差について、航路外より航路内の方が大きくなったのは、航路内の海底では過去に行われた浚渫後に底泥が再度堆積したが、今回の10kHzの音響ビームは過去の浚渫面付近まで到達したためと考えられる。なお、測線EW-3に平行する測線EW-1及び測線EW-2上の航走観測でも、一部原地盤のままと思われる海底面を除き、似たような航路内外による観測海底面差が生じていた。また、測線EW-3と直交する測線NS-1上の航走観測では、観測地点による10kHzと200kHzの観測海底面差の違いは殆ど生じていなかった。当該測線は航路外であり、浚渫による原地盤の高低差が生じていないため、違いが生じていないと考えられる。なお、図-4.2に示す10kHzと200kHzの観測海底面差と異なる結果になったのは、両観測時(1990~1991年と2018年)の間に底泥の輸送特性や浚渫により海底面に変化が生じたためと考えられる。実際、現地観測時、観測地点北方で浚渫が実施されていた。

シングルビーム測深(200kHz)の代替可能性を検討するため、マルチビーム(400kHz)及びシングルビーム(200kHz, 10kHz)以外にも、マルチビーム(200kHz)による航走観測も実施した。しかし、図-4.5と図-4.6の破線で示すとおり、当該観測結果は、航走時の船舶の揺れの影響などもあり、シングルビーム(200kHz)より浅く観測される箇所も一部生じ、また観測地点によってシングルビーム(200kHz)ではなく、マルチビーム

(400kHz)の観測結果に近づく不安定な観測結果となった。そのため、今回、シングルビーム測深の代替の可能性について言及するまでには至らなかった。

(2) 停船観測結果

マルチビーム測深(400kHz及び200kHz)、シングルビーム測深(200kHz)シングルビーム測深(10kHz)による停船観測結果をそれぞれ点線、破線、実線、二重線で、また現地式密度計及び柱状採泥器により計測した底泥密度結果を黒丸、白丸で停船観測地点毎に図-4.7~図-4.10に示す。

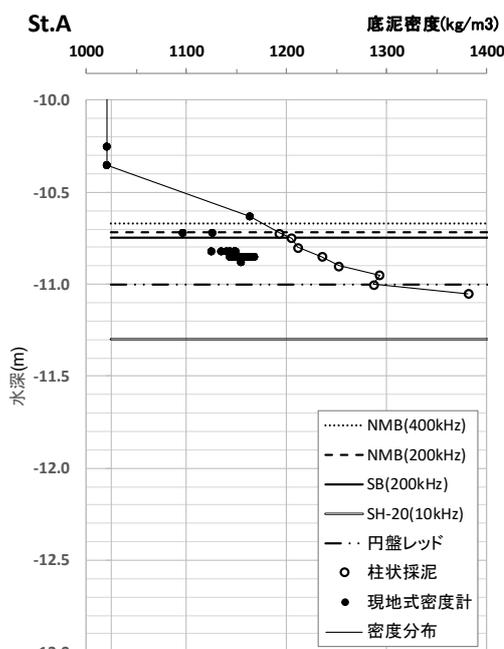


図-4.7 停船観測結果 (St.A)

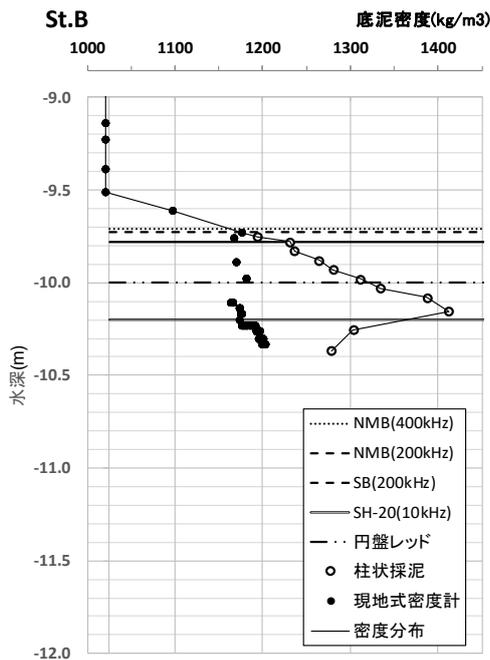


図-4.8 停船観測結果 (St. B)

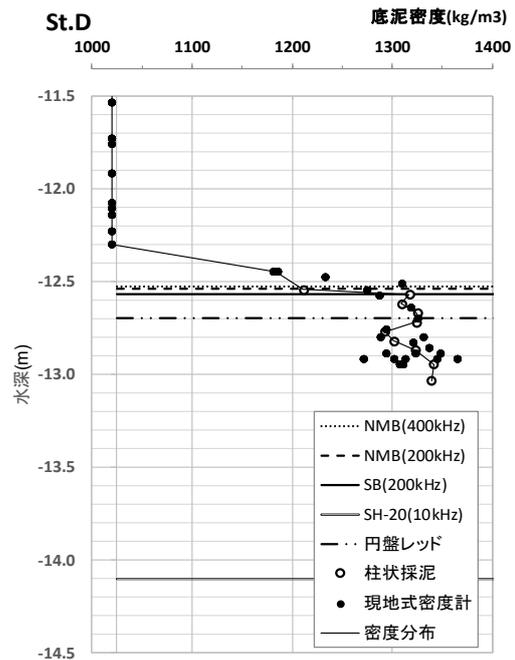


図-4.10 停船観測結果 (St. D)

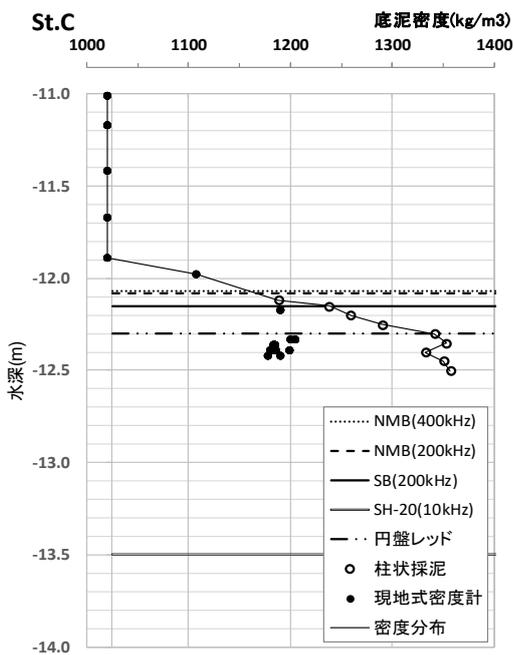


図-4.9 停船観測結果 (St. C)

航走観測結果と同様に、いずれの観測地点においても周波数が10kHz、200kHz、400kHzと高くなるほど、観測海底面が浅く計測される結果となった。また、航走観測時と同様に、マルチビーム測深の導入に伴い、従前のシングルビーム測深（200kHz）とマルチビーム測深（400kHz）による観測海底面に一定程度の差が生じると

想定していたが、両観測海底面の具体的な差は、いずれの観測地点においても、10cm程度であった。また、レッドの停止位置はいずれの観測地点においても、10kHzと200kHz間の水深で計測された。当該位置関係は、既往研究<sup>15)</sup>においても同様の傾向を示しており、汎用性の高い結果ではないかと考える。さらに、10kHzの観測海底面は、航路外（St. AとSt. B）と航路内（St. CとSt. D）では異なる結果となり、航路外で50cm程度、航路内で100cm程度であった。航走観測時と同様に、浚渫後に再堆積したであろう底泥が影響しているものと思われる。

なお、航走観測時と同様にマルチビーム（200kHz）による停船観測も実施したが、当該観測結果は不安定な観測結果となったため、シングルビーム測深の代替の可能性については言及するには至らなかった。

### (3) 底泥の密度勾配と観測海底面差の関係

音波は、媒質の境界面で反射する際、音響インピーダンス（媒質の密度と伝搬速度の積で表される）の差が大きいくほど、反射係数が大きく、つまり反射されやすくなる。当該原理を踏まえると、異なる周波数の音響測深による観測海底面差は、密度勾配が緩やかなほど、大きくなる傾向にあると考えられる。

そこで、上記傾向を観測結果から把握するため、底泥密度1,200kg/m<sup>3</sup>以下の浮泥層厚の密度勾配と、200kHzと

400kHzによる両観測海底面差の関係について分析することとした。なお、底泥密度 $1,200\text{kg/m}^3$ 以下の浮泥層厚とは、底泥密度分布が海水密度 $1,027\text{kg/m}^3$ から上昇を開始し、 $1,200\text{kg/m}^3$ に至るまでの距離のことを表し、St. A, St. B, St. C, St. Dで、40cm, 25cm, 23cm, 19cm 確認されている。密度勾配は、浮泥表層から $1,200\text{kg/m}^3$ に至る密度の増加分を、底泥密度 $1,200\text{kg/m}^3$ 以下の浮泥層厚で除算して算出するものとする。

密度勾配について、St. B ( $692.00\text{kg/m}^4$ ) とSt. C ( $752.17\text{kg/m}^4$ ) の方が、St. D ( $910.52\text{kg/m}^4$ ) よりも緩く、観測海底面差は、St. B (0.07m) とSt. C (0.08m) の方が、St. D (0.04m) よりも大きな値となった(表-4.1)。このことから、底泥密度 $1,200\text{kg/m}^3$ 以下の浮泥層厚の密度勾配が緩やかなほど(St. B, St. C < St. D), 200kHz と400kHzの観測海底面差が比較的大きくなる傾向になることが確認された。なお、観測海底面差が音響測深の測深誤差の範囲のため、当該傾向もほとんど同一値とみなすことも可能であるが、上記原理と合致することから、1つの傾向として言及しても問題ないとする。また、St. Aの密度勾配は、他地点と比べて密度観測値の未取得(水深10.5m前後の約0.3m区間で未取得)の影響が大きいので、参考値とする。

(4) 低周波数(10kHz)と高周波数(200kHz, 400kHz)の観測海底面差による流動泥の把握

既存調査<sup>16)</sup>において、10kHzによる観測海底面は流動泥の下端で反射する試験結果が確認されている。なお、ここで、底泥密度 $1,200\text{kg/m}^3$ 以下の浮泥のうち、図-4.11に示す通り、非ニュートン流体的な挙動を示す浮泥のことを流動泥と表し、ニュートン流体的な挙動を示す浮泥のことを浮遊泥と表す。非ニュートン流体とは、剪断応力が剪断変形速度に比例しない流体のことである。

本観測においても、上記と同様の観測結果が生じるか、シングルビーム測深(10kHz)とシングルビーム測深(200kHz)あるいはマルチビーム測深(400kHz)を用いて検討することとした。

しかし、図-4.7~図-4.10に示す通り、10kHzによる観測海底面は、現地式密度計によるSt. Bの計測結果を除いて、いずれも底泥密度 $1,200\text{kg/m}^3$ より深い地点に位置しており、すなわち流動泥の下端で反射していないことがわかった。上記理由としては、音響ビームのエネルギーの減衰が反射地点の密度のみに依存するのではなく、伝達距離や密度勾配などに起因しているためと考えられる。このことから、底泥密度に応じた水深を音響測深のみで計測することは困難であることが改めてわかり、船舶の航行上支障が生じる水深を推計するためには、複数の測

表-4.1 200kHz と 400kHz の観測海底面差と底泥密度  $1,200\text{kg/m}^3$  以下の浮泥の密度勾配

	200kHz の 観測海底面 (m)	400kHz の 観測海底面 (m)	左記観測 海底面差 (m)	浮泥表面 ( $1,027\text{kg/m}^3$ ) の水深 (m)	底泥密度 $1,200\text{kg/m}^3$ の 水深 (m)	密度勾配 ( $\text{kg/m}^4$ )
St. A (参考値)	10.75	10.67	0.08	10.35	10.75	432.50
St. B	9.78	9.71	0.07	9.51	9.76	692.00
St. C	12.15	12.07	0.08	11.89	12.12	752.17
St. D	12.57	12.53	0.04	12.31	12.50	910.52

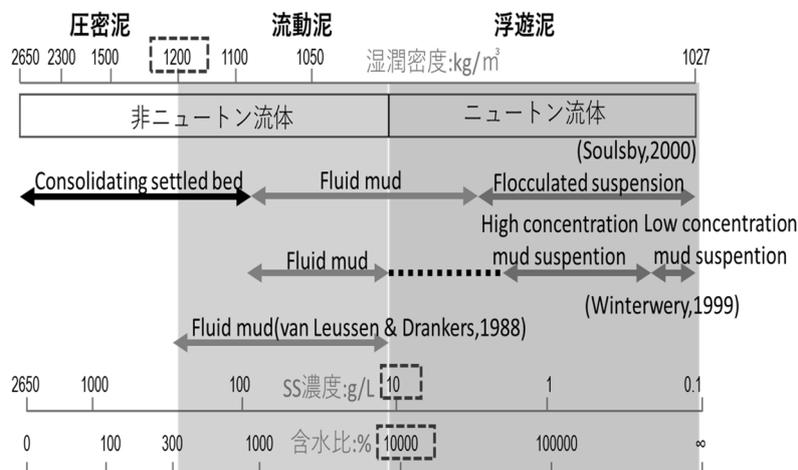


図-4.11 湿潤密度, SS 濃度, 含水比による泥の分類<sup>14)</sup>

深結果を活用するか、レッド測深の結果を併用するなどの工夫が必要であることが示唆された。

### 4.3 浮泥堆積域におけるマルチビーム測深の効率化

上記 4.2(1)～(2)から、今回現地観測を実施した東京湾の東京東航路周辺海域は、底泥密度  $1,200\text{kg/m}^3$  以下の浮泥層厚が 30cm 程度、10kHz と 200kHz による観測海底面差が 100cm 程度生じる海域であったが、マルチビーム測深 (400kHz) とシングルビーム測深 (200kHz) による観測海底面差は、航走観測、停船観測いずれにおいても、10cm 程度しか生じない結果であった。

ICT 浚渫工によるマルチビーム測深の導入に伴い、従前のシングルビーム測深 (200kHz) とマルチビーム測深 (400kHz) による観測海底面に浮泥層厚に応じた一定程度の差が生じると想定していた。しかし、音響測深機自体の測深精度が  $\pm 10\text{cm}$  を限界値とすることを踏まえると、今回の観測海底面差は誤差範囲であり、ICT 浚渫工の生産性向上を進める観点からはほぼ同一と解釈して問題ないと考えられる。

したがって、底泥密度  $1,200\text{kg/m}^3$  以下の浮泥が 30cm 程度堆積する内湾における深浅測量では、ICT 浚渫工の導入時の経過措置としてのみならず、恒常的にマルチビーム測深 (400kHz) による測深で対応可能と考える。

また併せて、2.4 で言及したシングルビームの併用解消に関しても、上記浮泥堆積域でさえ、マルチビーム測深のみによる測深が可能であることを踏まえると、浚渫直後の海域では、いずれの海域でもシングルビーム測深 (200kHz) の併用は尚のこと解消可能であると考え、マルチビーム測深のみによる測深を実施することで、測量段階における生産性向上への寄与が期待できると考える。

## 5. まとめ

まず、ICT 浚渫工試行工事の受注者へのアンケート調査結果を通じて、浚渫工における浮泥の影響がもたらす問題点を把握した。具体的には、

- ・測量段階においては、浮泥の影響により測深作業自体、測深結果の解析に時間を要する。
- ・施工段階においては、浮泥が舞い上がらないよう低速による曳航の必要性や施工区域外からの浮泥の流れ込みにより水深確保が困難である。

などの問題点が挙げられ、浮泥の輸送特性である、堆積、巻き上げ及び水平移流や、音響測深の周波数による観測海底面の違いに起因するものであることが確認された。

今後、ICT 浚渫工の導入に伴う音響測深の周波数の変

更により、さらに浅く観測された際、浚渫時に上記問題点がより一層生じることが想定され、ICT 浚渫工における生産性向上に資するためには、少なくとも従来の周波数 200kHz のシングルビーム測深による観測海底面に基づく効率的な水深管理が必要であり、また将来的には、浮泥の船舶航行や浚渫土量への影響を考慮した、より効率的な水深管理の必要性があると認識された。

次に、東京湾の東京東航路周辺海域における現地観測結果を通じて、下記のことがわかった。

- ・航走観測、停船観測時共に、周波数が 10kHz, 200kHz, 400kHz と高くなるほど、既往観測結果と同様に観測海底面が浅く計測された。
- ・しかし、底泥密度  $1,200\text{kg/m}^3$  以下の浮泥が 30cm 程度堆積する内湾海域において、シングルビーム測深 (200kHz) とマルチビーム測深 (400kHz) による両観測海底面の具体的な差は 10cm 程度であった。
- ・底泥密度  $1,200\text{kg/m}^3$  以下の浮泥層厚の密度勾配が緩やかなほど (St. B, St. C < St. D), 200kHz と 400kHz による観測海底面差が比較的大きくなる傾向であった。

上記結果から、浮泥堆積域における ICT 浚渫工の生産性向上に資するためには、下記測深方法により対応可能であると考えられる。

- ・底泥密度  $1,200\text{kg/m}^3$  以下の浮泥が 30cm 程度、10kHz と 200kHz による観測海底面差が 100cm 程度生じる内湾海域において、深浅測量を実施する場合、マルチビームのみによる測深で対応可能である。
- ・浚渫直後の海域においては、いずれの海域でもシングルビーム測深 (200kHz) を併用する必要はなく、マルチビームのみによる測深で対応可能である。

## 6. あとがき

本研究と同環境の浮泥堆積域において、深浅測量を実施する場合には、マルチビーム測深のみで対応可能と考えるが、一方で、今回の結果が必ずしも全海域を網羅しているわけではないので、その点については留意する必要がある。例えば、出水等の影響を強く受ける河口港や干潟等の海域など、浮泥の堆積状況によっては、200kHz (シングルビーム測深) と 400kHz (マルチビーム測深) の観測海底面の差が大きく生じる可能性は依然として残されている。そのため、ヒアリングや現地観測等を通じて、引き続き情報を蓄積する必要がある。

また、音響測深の観測海底面と船舶の航行上支障が生じる水深の不一致については、今回問題点について言及したのみである。より効率的な水深管理を可能とするた

めには、音響測深による船舶の航行上支障が生じる水深が推計可能な手法を構築することが今後、望まれる。

(2019年5月30日受付)

## 謝 辞

本資料をとりまとめるにあたり、マルチビーム測深機による測深手法に関する検討会にご出席いただき、多様な観点からご意見等を頂戴した委員の方々に感謝いたします。また、ICT 浚渫工等における浮泥の影響がもたらす問題点の把握等に関するアンケート調査にご協力頂いた ICT 浚渫工試行工事の受注者各位、現地式密度計を貸与頂いた港空研沿岸土砂管理研究グループ関係各位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～（報告書概要），2016年，pp.5-6，<<http://www.mlit.go.jp/common/001137123.pdf>>.
- 2) i-Construction 委員会：i-Construction ～建設現場の生産性革命～，2016年，<<http://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>>.
- 3) 港湾における ICT 導入検討委員会：第7回委員会資料，2019年，<<http://www.mlit.go.jp/common/001274017.pdf>>.
- 4) 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>>.
- 5) 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），2018年，<<http://www.mlit.go.jp/common/001228009.pdf>>.
- 6) 中川康之，渡邊和重，谷川晴一，黒田祐一：海底面近傍における底泥密度の鉛直分布特性の把握，海岸工学論文集，第51巻，pp.986-990，2004.
- 7) 港湾における ICT 導入検討委員会：第5回委員会資料，2018年，<<http://www.mlit.go.jp/common/001224632.pdf>>.
- 8) 吉田英治，井山繁，鈴木啓介：港湾分野における i-Construction 推進のための3次元データ等の活用に関する検討，国土技術政策総合研究所資料，No.1024，pp15-16，2018.
- 9) 海上保安庁：海上保安庁告示第102号，<[https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/\\_userdata/annex2.pdf](https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/annex2.pdf)>.
- 10) 海上保安庁：水路測量業務準則施行細則，<[https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/\\_userdata/saisoku.pdf](https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/saisoku.pdf)>.
- 11) 一般財団法人日本水路協会：水路測量技術テキスト水路測量，第1巻，2014，p161.
- 12) 中川康之：有明海における底泥輸送現象のモデル化，港湾空港技術研究所報告，第42巻第4号，2003.
- 13) 中川康之，篠澤巧，高嶋紀子，渡邊理之，清水雄太：河口港における底泥堆積特性の把握に関する現地調査，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.71，No.2，I\_571-I\_576，2015.
- 14) 木原純孝：5.音響測深機に関する研究—超音波放射と反響記録特性—，港湾技術研究所報告，第8巻，第1号，1969，pp.143-144.
- 15) 森洋，林健次，宇都宮好博，大西健二：東京湾の海底面判読に関する一考察，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.69，No.2，2013，pp. I\_1156-I\_1161.
- 16) 一般社団法人海洋調査協会，三洋テクノマリン他：平成29年度国土交通省関東地方整備局実海域実験場の提供制度による実験結果，2017.
- 17) 中川康之，有路隆一，松坂省一，諸星一信，八木宏，灘岡和夫，古殿太郎，大野幸正，島崎哲也：多摩川河口沿岸域における底泥の堆積分布特性の把握に関する現地調査，海岸工学論文集，第54巻，pp.1031-1035，2007.

## 付録 A マルチビーム測深機による測深手法に関する検討会 開催概要及び関係者一覧

### <開催概要>

○第1回マルチビーム測深機による測深手法に関する検討会：

【日時】平成30年10月4日(木)

【設置目的】今後の我が国の水域施設を主とする港湾施設の調査・設計、施工、維持管理等に用いられるマルチビーム測深機による測深に関して、浮泥層の影響を受ける海域において、合理的かつ効率的な測深手法の検討を行い、もって生産性の向上に資することを目的として設置するものである。

#### 【主な議題】

- 1) 検討会の概要
- 2) 国内外の海底面判定手法について
- 3) 現地試験（試験計画）について

#### 【主な意見等】

- ・ 浮泥の存在する海域と存在しない海域で切り分けて整理すること。
- ・ また、今後の追加調査の実施も含め検討すること。
- ・ 事例収集は、港空研での羽田空港沖、熊本港、新潟西港での現地試験事例等も実施すること。

○第2回マルチビーム測深機による測深手法に関する検討会：

【日時】平成30年12月14日(金)

#### 【主な議題】

- 1) 第1回検討会における主な意見と対応
- 2) 現地試験結果について
- 3) 浮泥堆積域における測深手法と効率化の検討

#### 【主な意見】

- ・ 浮泥堆積層が存在する海域を実工事で把握することは重要。
- ・ 深浅測量の目的を考えた上で今回の現地試験結果を評価すべき。
- ・ マルチビーム200kHzによるシングルビーム200kHzの代用へ向けての検討は引き続き必要。
- ・ 今回の現地試験のような海域であれば、マルチビーム400kHzとシングルビーム200kHzでの測深結果に10cm程度の差しか生じず、マルチビーム400kHzの1機種での対応が可能という結果となった。しかし、全国には浮遊泥の多い海域もあり、河口港や干潟など今回と条件の異なる海域では測深機器や周波数等の違いによる測深差が一定程度生じる可能性もあることから、引き続き現地試験等による事例収集が必要。

### <関係者一覧（マルチビーム検討会の開催時点）>

座長：	九州大学大学院 工学研究院 海域港湾環境防災共同研究部門 教授	中川 康之
委員：	北海道大学 北極域研究センター 国際連携研究教育局 教授	安部 智久
	東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 教授	岩波 光保
	一般社団法人 海洋調査協会 専務理事	伊藤 直和
	港湾局技術企画課 港湾保全政策室長	藤田 亨
	国土技術政策総合研究所 港湾研究部長	藤井 敦
事務局：	国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室	
	一般財団法人 港湾空港総合技術センター	

付録 B ICT 浚渫工等における浮泥の影響がもたらす問題点に関するアンケート調査票及び集計

(1) アンケート調査票 (2018 年度 ICT 浚渫工試行工事の受注者へ配布したアンケート調査票)

ICT 浚渫工試行工事における浮泥堆積状況等に関するアンケート調査票	
<p>本アンケート調査は、ICT 浚渫工においてマルチビーム測深機による深淺測深(以下、NMB 測深という。)が進められる中、浮泥が堆積する海域における NMB 測深の課題等を把握することを目的としています。平成 30 年度 ICT 浚渫工試行工事を調査対象とし、以下の設問にご回答願います。</p> <p style="text-align: center;">※調査票の「<input type="checkbox"/>」欄はリストからの選択式、「<input type="text"/>」欄は記入式となっております。</p>	
設問1 浮泥の有無等について	
<p>1-1 浮泥の有無について</p> <p>調査対象工事において、浮泥とみられる堆積物が確認されましたか。該当するものに「<input checked="" type="checkbox"/>」を選択して下さい。</p> <p> <input type="checkbox"/> ①浮泥とみられる堆積物を確認出来た。  <input type="checkbox"/> ②浮泥とみられる堆積物を確認出来なかった。  <input type="checkbox"/> ③不明である。         </p> <p style="text-align: center;">〔 1-1 の設問で①を選択した場合、引き続き 1-2 以降の設問に回答願います。 ②③を選択した場合、引き続き 2-2 以降の設問に回答願います(1-2~2-1 は対象外)。 〕</p> <p>1-2 浮泥の確認方法、堆積厚について</p> <p>調査対象工事における浮泥の確認方法、おおよその堆積厚についてお答え下さい。</p> <p>(1) 浮泥の確認方法 <input type="text"/> →「その他」の内容 <input type="text"/></p> <p style="text-align: center;">※選択肢より該当する番号を選択して下さい。 ※具体的内容を記載して下さい。</p> <p style="text-align: center;">             ①NMB 測深とシングルビーム 測深結果の比較              ②NMB 測深とレッド 測深結果の比較              [選択肢] ③潜水目視              ④その他         </p> <p>(2) 1-2(1)で①または②を選択した場合、各音響測深の周波数を記入して下さい。</p> <p style="text-align: right;">NMB 測深: <input type="text"/> kHz</p> <p style="text-align: right;">シングルビーム 測深: <input type="text"/> kHz</p> <p>(3) 浮泥の堆積厚を記入して下さい。</p> <p style="text-align: right;"><input type="text"/> cm</p> <p style="text-align: center;">また、浮泥の堆積分布がわかる図等があればデータ提供して下さい。</p>	
設問2 浮泥による工事への影響等について	
<p>2-1 浮泥による工事への影響について</p> <p>(1) 調査対象工事において、浮泥による工事への影響はありましたか。該当するものに「<input checked="" type="checkbox"/>」を選択して下さい。</p> <p> <input type="checkbox"/> ①工事に大きく影響した。 →具体的な影響内容 <input type="text"/>  <input type="checkbox"/> ②工事にあまり影響しなかった。  <input type="checkbox"/> ③不明である。  <input type="checkbox"/> ④その他 →「その他」の内容 <input type="text"/> </p> <p style="text-align: right;">具体的内容を記載して下さい。 ex.) 工事以外の〇〇に影響した。</p>	

2-2 その他

(1) 調査対象工事以外に、浮泥が工事へ影響が生じた過去事例等(海域、浮泥の層厚、影響内容等)があれば記入して下さい。

(2) 浮泥堆積域におけるNMB測深に関する意見等がありましたら、記入して下さい。

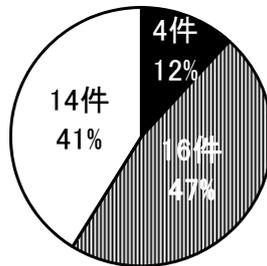
設問は以上です。調査にご協力いただき、ありがとうございました。

(2) アンケート調査票の回答・集計 (記述式の回答については、基本的に記載のまま転記)

Q1-1. 調査対象工事において、浮泥とみられる堆積物が確認されましたか、該当するものに「✓」を選択して下さい。

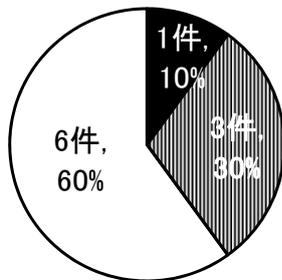
①浮泥とみられる堆積物を確認出来た. ②浮泥とみられる堆積物を確認出来なかった. ③不明である.

■浮泥とみられる堆積物を確認  
 ▨浮泥とみられる堆積物を確認不能  
 □不明



Q1-2. 調査対象工事における浮泥の確認方法、およびその堆積厚についてお答え下さい。

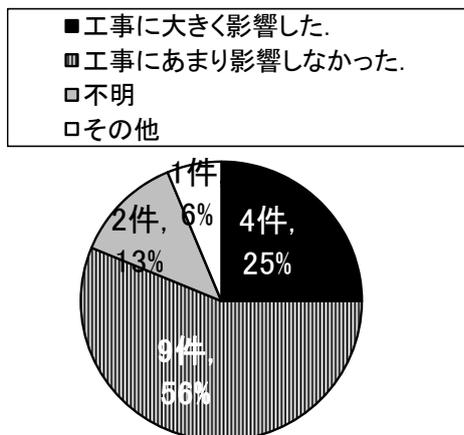
■マルチビームとレッド測深結果の比較  
 ▨潜水目視  
 □その他



堆積厚	件数
10cm	1件
不明	2件
回答なし	1件

Q2-1. 調査対象工事において、浮泥による工事への影響はありましたか、該当するものに「✓」を選択して下さい。

① 工事に大きく影響した。② 工事にあまり影響しなかった。③ 不明である。④ その他



Q2-2. (1) 調査対象工事以外に、浮泥が工事へ影響が生じた過去事例等（海域、浮泥の層厚、影響内容等）があれば記入して下さい。

- ・ 浮泥があれば音波が地表より深く入ってしまい、実際の地表面がわかりにくくなりマルチビームの解析時に影響が出る場合がある。（岩盤や砂とは違い地表がやわらかい為、実際に表面で取れるデータと深く入ってしまうデータが混在する）
- ・ 施工区域内外含め広範囲にわたり、浮泥の堆積がある箇所では、施工区域内を掘削しても、区域外から浮泥が流れ込んで、水深の確保が困難な過去事例があった。該当工事は暫定工事であったため、施工完了後に速やかに施工状況検査を行い対応した。
- ・ 護岸工事の捨石投入時、想定以上に沈み込みがあり石材の追加を余儀なくされた。
- ・ A港における仮設航路浚渫にて、浚渫が4年に掛けての工事であったため、前年の浚渫作業によると思われる浮泥が20cm以上堆積している箇所もあったため、浚渫土砂運搬時に浮泥が舞い上がらないよう低速でえい航した。また、浚渫終点側に浮泥が堆積し、掘り残しと判断されないよう余掘りを1m、幅10m行い対策を行った。
- ・ 隣接工事も同様の現象が発生していた。
- ・ 浮泥の薄層30cm浚渫工事で土運船の水抜き穴からの排水が影響した事例があった。対応としては排水を全面に禁止し、軽荷ではあるが土運船の運搬を増やし対応した
- ・ 浚渫区域周辺の水深が10cm~20cm高くなっていたため、掘りに行くことになった。
- ・ マルチビームを使用する限りについては、400kHzの高周波数帯を主に使用しているため、仮に浮泥が存在しても気がつかずに海底記録として判別していると考える。
- ・ B防波堤埋立地周辺、浮泥厚1.0m程度、浚渫であれば土量に影響し跡坪測量の成果にも大きな影響が出る、石入れであれば石のボリュームに大きい影響がある。
- ・ 浮泥により解釈する水深に影響が想定される工事において、事前に浮泥厚調査を実施し、誤まった解釈につながることを回避した例がある。

Q2-2. (2) 浮泥堆積域におけるNMB測深に関する意見等がありましたら、記入して下さい。

- ・ 浮泥堆積域におけるマルチビーム測深については、工事完了後速やかに測深は困難であると思われる（浅い水深を取得し、誤差が大きくなるため）、浮泥が着底するまでの日程を考慮してほしい。
- ・ マルチビーム測量にて浮泥らしき海底記録が観測されても、海底として取り扱わざるを得ないのが現状。自主管理段階でシングルビーム測深等により浮泥の存在が確認出来た場合、深掘りによりマルチビーム測深に対応するか、工事工程上困難かもしれないが、浮泥の落ち着くまで工事完了から測量までに時間を開ける事が必要かと考える。
- ・ マルチビーム測深機の特性上、高周波を使用しているため、浮泥層の圧密・厚さがどの程度かにもよるが、浮泥の下を計測する可能性が高いと考えられる。但し、出来形測量時には水路測量の規則により、シングルビームと同時計測をする事から、シングルの記録には、浮泥をとらえる可能性がある。
- ・ 大型船舶が通過する度に浮泥が巻き上がるような現場もありえるので、管理するものとしてはその辺も考慮すべきと考える。
- ・ 浮泥堆積域である事が事前にわかるのであれば、マルチビーム測深とレッド測深結果の比較が必要だと考える。
- ・ 浮泥層に基礎石等の石材を投入した場合、割増率が増加して材料費が高額になる可能性がある。事

前に発注者立会のもと、浮泥層厚の確認及び割増率の協議変更が必要となる。

- ・ 浮泥か否かの判別が現状マルチビーム測深のみでは困難である認識であり、潜水目視が一番有力であるが、全国各地の事例の共有が今後の基準の確立の為に必要かと思われる。
- ・ 浮泥浮遊物が多い海域において、マルチビーム測深を行う場合、詳細なデータを取得するためデータ処理および浚渫手直し作業が膨大になる。
- ・ 浮泥堆積域と事前に把握できれば、オペレーターの方で機器操作・データ量(ラップ率)の調整が出来るので、データの欠損による再測を少なく出来ると思われる。
- ・ 浮泥厚を機械だけで正確に測ることは密度の違いなどもあり難しく、浮泥のある可能性のあるエリアでは、旧来の円盤レッドなど、感触の分かる方法での調査を併用するのが正確性を高める調査方法であると思われる。
- ・ 浮泥堆積域などでは、レッドの着底水深と音響の反射水深の差異を多点において把握する必要がある。従来の多素子、単素子と同様、マルチビームにおいても同様と考える。浮泥存在域において、200kHz程度が海底面と定義づけられる場合はシングル等の併用。

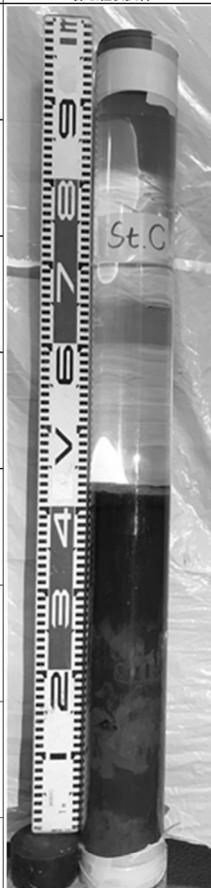
付録 C 柱状採泥結果

調査点		St.A			
調査日	2018/11/6	位置	北緯 35° 35' 25.87"	東経 139° 50' 45.84"	天候 雨
採泥時刻	12:34	位置	北緯 35° 35' 25.87"	東経 139° 50' 45.84"	天候 雨
分割層	項目 結果	湿潤密度	分割試料	採取柱状試料	
第1層 0cm ~ 0.5cm	泥色 10Y4/1	1.193 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 無臭				
	底質 シルト				
	性状 流動				
第2層 0.5cm ~ 5.5cm	泥色 10Y4/1	1.205 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 流動				
第3層 5.5cm ~ 10.5cm	泥色 10Y4/1	1.211 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 流動				
第4層 10.5cm ~ 15.5cm	泥色 10Y4/1	1.235 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 流動				
第5層 15.5cm ~ 20.5cm	泥色 10Y4/1	1.252 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第6層 20.5cm ~ 25.5cm	泥色 10Y4/1	1.293 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第7層 25.5cm ~ 30.5cm	泥色 10Y4/1	1.287 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第8層 30.5cm ~ 36.0cm	泥色 10Y3/2	1.381 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 無臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第9層 cm ~ cm	泥色				
	臭気				
	底質				
	性状				
第10層 cm ~ cm	泥色				
	臭気				
	底質				
	性状				
第11層 cm ~ cm	泥色				
	臭気				
	底質				
	性状				
備考	含水比、湿潤密度は試料分析の結果を記載				

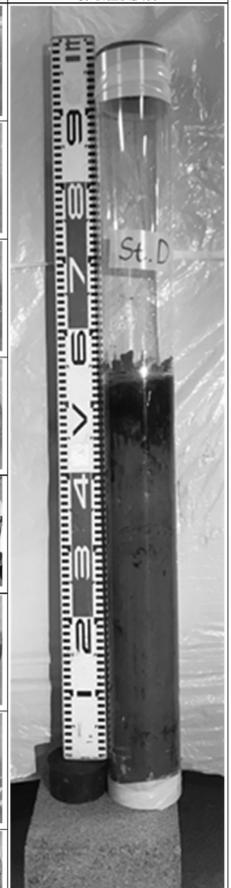
調査点		St.B			
調査日	2018/11/6	位置	北緯 35° 35' 39.57"	東経 139° 50' 35.61"	天候 雨
採泥時刻	13:40	位置	北緯 35° 35' 39.57"	東経 139° 50' 35.61"	天候 雨
分割層	項目 結果	湿潤密度	分割試料	採取柱状試料	
第1層 0cm ~ 0.5cm	泥色 7.5Y3/1	1.194 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 浮泥				
	性状 流動				
第2層 0.5cm ~ 5.5cm	泥色 7.5Y3/1	1.231 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 浮泥				
	性状 流動				
第3層 5.5cm ~ 10.5cm	泥色 7.5Y3/1	1.236 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第4層 10.5cm ~ 15.5cm	泥色 7.5Y4/2	1.264 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第5層 15.5cm ~ 20.5cm	泥色 7.5Y4/2	1.280 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第6層 20.5cm ~ 25.5cm	泥色 7.5Y4/2	1.311 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第7層 25.5cm ~ 30.5cm	泥色 7.5Y4/2	1.334 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第8層 30.5cm ~ 35.5cm	泥色 7.5Y4/2	1.387 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第9層 35.5cm ~ 45.5cm	泥色 7.5Y4/1	1.412 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 硫化水素臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第10層 45.5cm ~ 55.5cm	泥色 7.5Y2/2	1.303 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 無臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
第11層 55.5cm ~ 68cm	泥色 7.5Y2/2	1.278 (g/cm <sup>3</sup> )			
	臭気 無臭				
	底質 シルト				
	性状 自立				
備考	含水比、湿潤密度は試料分析の結果を記載				

ICT 浚渫工の導入に伴う浮泥堆積域におけるマルチビーム測深の効率化に関する検討  
／坂田憲治・井山繁

調査点		St.C				
調査日	2018/11/6	位置	北緯 35° 35' 31.35"	東経 139° 50' 18.43"	水深	12.2 m
採泥時刻	15:45	天候	雨			
分割層	項目	結果	湿潤密度	分割試料		
第1層	泥色	10Y4/2	1.188 (g/cm <sup>3</sup> )			
0cm ~	臭気	無臭				
1.5cm	底質	シルト				
	性状	流動				
	夾雑物	なし				
第2層	泥色	10Y2/1	1.238 (g/cm <sup>3</sup> )			
1.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
6.5cm	底質	シルト				
	性状	流動				
	夾雑物	なし				
第3層	泥色	10Y2/1	1.259 (g/cm <sup>3</sup> )			
6.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
11.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第4層	泥色	10Y2/1	1.290 (g/cm <sup>3</sup> )			
11.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
16.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第5層	泥色	10Y4/1	1.341 (g/cm <sup>3</sup> )			
16.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
21.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第6層	泥色	10Y4/1	1.353 (g/cm <sup>3</sup> )			
21.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
26.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第7層	泥色	10Y4/1	1.332 (g/cm <sup>3</sup> )			
26.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
31.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第8層	泥色	10Y3/1	1.35 (g/cm <sup>3</sup> )			
31.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
36.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	貝がら片				
第9層	泥色	10Y3/2	1.357 (g/cm <sup>3</sup> )			
36.5cm ~	臭気	無臭				
42cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第10層	泥色					
cm ~	臭気					
cm	底質					
	性状					
	夾雑物					
第11層	泥色					
cm ~	臭気					
cm	底質					
	性状					
	夾雑物					
備考	含水比、湿潤密度は試料分析の結果を記載					



調査点		St.D				
調査日	2018/11/6	位置	北緯 35° 35' 17.68"	東経 139° 50' 28.73"	天候	雨
採泥時刻	10:26	天候	雨			
分割層	項目	結果	湿潤密度	分割試料		
第1層	泥色	5Y4/2	1.211 (g/cm <sup>3</sup> )			
0cm ~	臭気	無臭				
0.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第2層	泥色	5Y2/2	1.317 (g/cm <sup>3</sup> )			
0.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
5.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第3層	泥色	5Y2/2	1.309 (g/cm <sup>3</sup> )			
5.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
10.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第4層	泥色	10Y5/2	1.325 (g/cm <sup>3</sup> )			
10.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
15.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第5層	泥色	10Y5/2	1.324 (g/cm <sup>3</sup> )			
15.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
20.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第6層	泥色	10Y5/2	1.293 (g/cm <sup>3</sup> )			
20.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
25.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	貝がら1対				
第7層	泥色	10Y5/2	1.301 (g/cm <sup>3</sup> )			
25.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
30.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第8層	泥色	10Y5/2	1.323 (g/cm <sup>3</sup> )			
30.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
35.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第9層	泥色	10Y5/2	1.341 (g/cm <sup>3</sup> )			
35.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
45.5cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第10層	泥色	10Y5/2	1.339 (g/cm <sup>3</sup> )			
45.5cm ~	臭気	硫化水素臭				
53.0cm	底質	シルト				
	性状	自立				
	夾雑物	なし				
第11層	泥色					
cm ~	臭気					
cm	底質					
	性状					
	夾雑物					
備考	含水比、湿潤密度は試料分析の結果を記載					



付録D 航走観測結果 (測線 NS-2, NS-3, EW-1, EW-2)

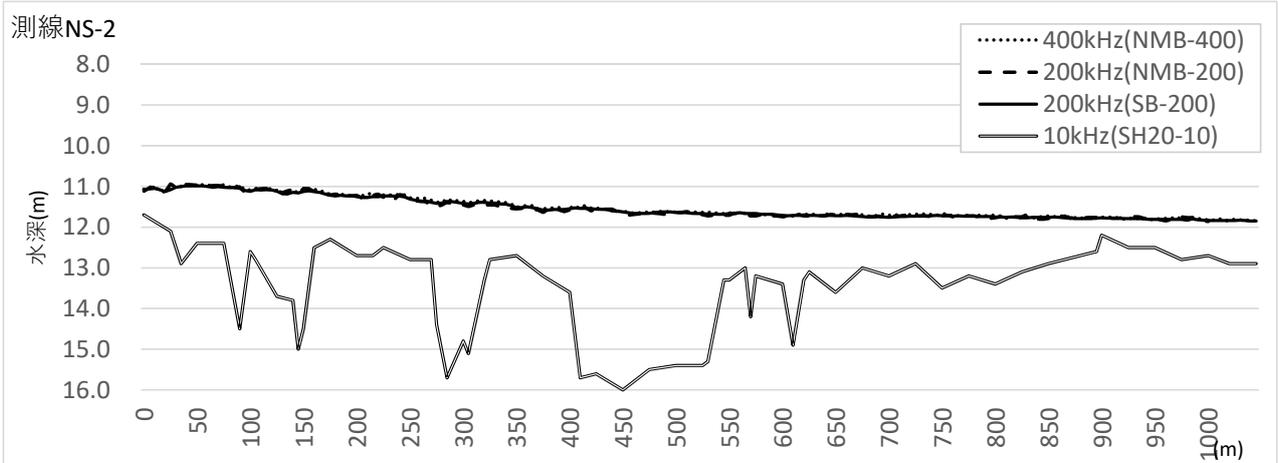


図-D.1 航走観測結果 (測線 NS-2)

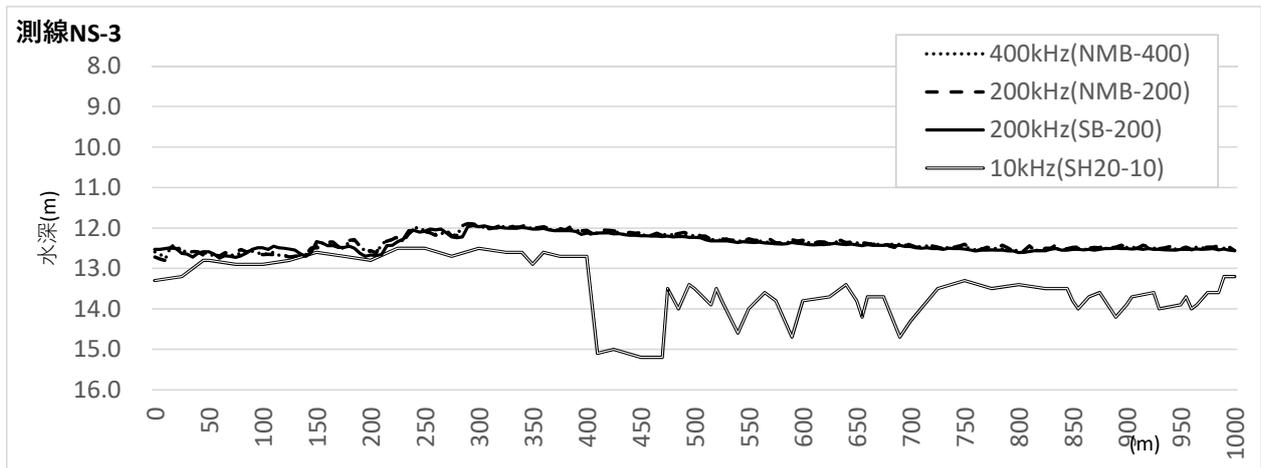


図-D.2 航走観測結果 (測線 NS-3)

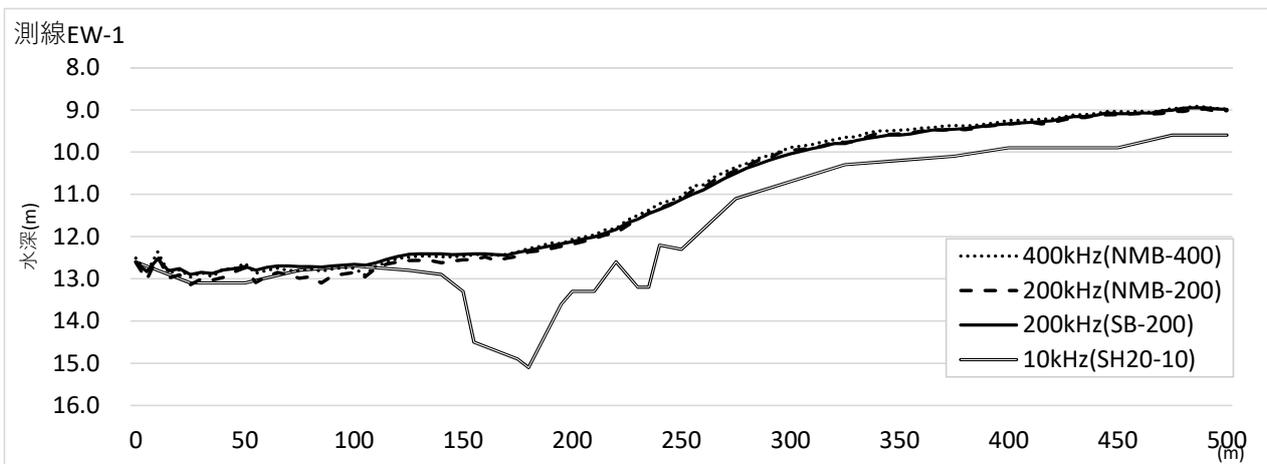


図-D.3 航走観測結果 (測線 EW-1)

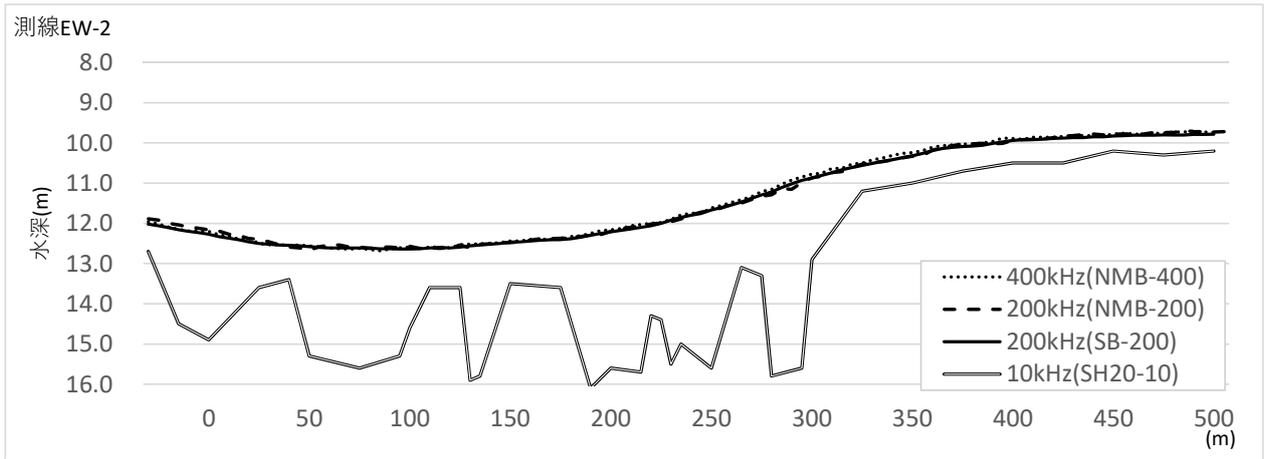


図-D.4 航走観測結果 (測線 EW-2)

---

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1079

July 2019

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-kikaku@ml.mlit.go.jp