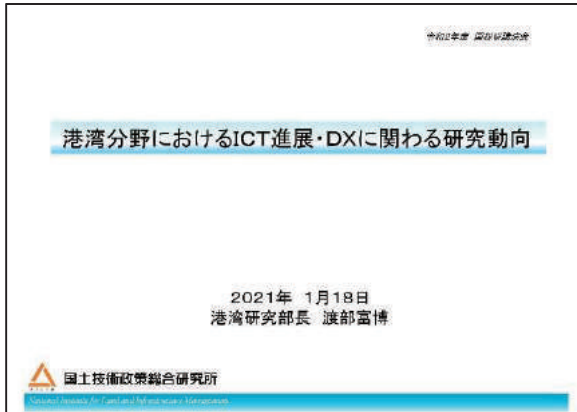
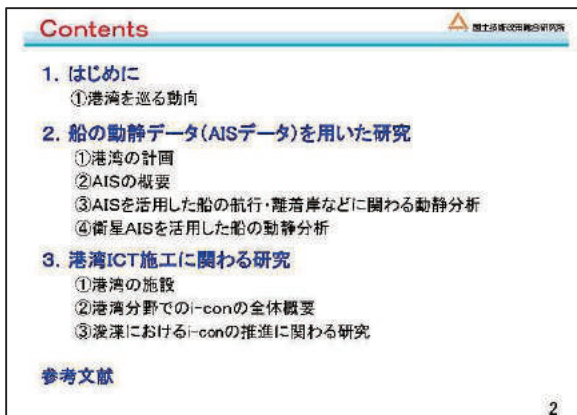


10. 港湾分野におけるICT進展・DXに関わる研究動向

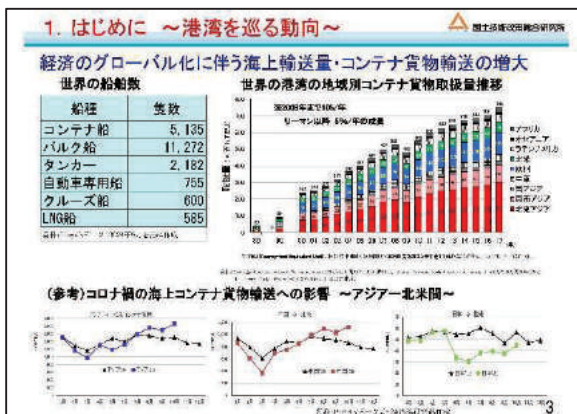
(国土技術政策総合研究所 港湾研究部長 渡部 富博)



港湾研究部長の渡部でございます。  
「港灣分野におけるICT進展・DX (Digital transformation) に関わる研究動向」についてお話ししたいと思います。



今日お話しする内容でございますけれども、最初に港灣を巡る動向について少しお話をしたいと思います。その後、船の動静データ (AISデータ) を用いた研究について、さらに港灣ICT施工に関わる研究についてお話をしたいと思います。



まず最初に、港灣を巡る動向でございます。経済のグローバル化に伴いまして、海上輸送量、コンテナ貨物量が增大しております。こちらのグラフは世界の港灣の地域別コンテナ貨物量の取扱いの推移を示したものでございます。縦軸はTEU、これは20 フィート、長さ6メートルのコンテナを1個と数える単位でございますが、2000年に世界全体で約2億3,000万ほどの取扱いがありましたが、2017年には3倍

強の7億5,000万ほどの取扱量に大きく増大してございます。地域別に見ますと、アジア地域を中心に貨物が大きく増大していることが分かります。

新型コロナの影響でコンテナ貨物への影響も出てまいりました。下のグラフはアジアから北米へのコンテナ貨物の輸出を2019年と2020年の月別に示したものでございます。2020年の2月から5月にかけてはアジアから北米あるいは中国から北米を見ましても、コンテナ貨物量が前年に比べて大きく



## 2. 船の動静データ(AISデータ)を用いた研究

### ① 港湾の計画

#### ○ 係留施設 対象船舶に応じた水深、延長

(コンテナ積り名洋船)

船名(船種)	全長 (m)	幅員 (m)	吃水 (m)	最大積載量 (トン)	最大積載率 (%)
3500	300	48	11.5	2,000	1.76~5.57
4500	350	55	12.5	2,500	2.86~5.72
5500	400	62	13.5	3,000	4.14~6.42
6500	450	70	14.5	3,500	5.11~7.77

船種	吃水 (m)	水深 (m)	延長 (m)	係留設備 (m)
コンテナ船	11.5	13.0	300	900
タンカー	12.5	14.0	350	980
貨物船	13.5	15.0	400	1,050
客船	14.5	16.0	450	1,150


#### ○ 泊地

- ・自力による回頭の場合・・・直径3Lの円
- ・曳船による回頭の場合・・・直径2Lの円

(Lは対象船舶の全長)

#### ○ 航路

- ・水深・・・対象船舶の係留状態時の静水状態の最大喫水の1.1倍
- ・航路幅・・・船舶が行き会う可能性のある航路では対象船舶の長さL以上



横浜港港湾計画図(426年11月改訂)

ここから1つ目の研究でございます船の動静データ (AISデータ) を用いた研究についてお話をいたします。

まず、その前に港湾の計画について少しお話をします。全国に百二十数港ある重要港湾などでは、港湾法によって10年から15年先の港湾計画を定めることになっております。これ右側は横浜港の港湾計画図でございますけれども、係留施設とか船が回る泊地、あるいは船が行き

交う航路、そういうものについて、どこにどう配置するか、規模とか大きさ、水深を決めてござい

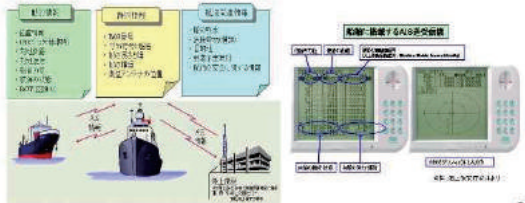
ます。係留施設につきましては、船のクラスによって、この表に示しましたとおり、このぐらいの船ですとこのぐらいの長さのバース、水深が要る、そういうものがある程度決まっております。泊地、船が回るエリアにつきましては、曳船 (タグボート) による回頭、船が回る場合には、船の長さをLとしますと、直径2Lの円、その程度のエリアが必要になります。自分で回る場合、タグがない場合には3Lの円で回ります。航路につきましても、水深は喫水の大体1.1倍程度、幅は船舶の長さ以上が必要とされております。

## ② AIS(Automatic Identification System)の概要

### AISで送受信される主な情報

- 静的情報 : 船名、IMC番号、船種、船体寸法(長さ、幅)、測位アンテナ位置
- 動的諸元 : 位置(緯度・経度)、対地航路・速度船首方向、航海ステータス(船種、目的地)
- 航海関連情報: 喫水、積載物、目的地 など

※2008年から義務化  
300総トン以上(国際航海船舶)、500総トン以上(非国際)、国際航海の全旅客船



そういうときに、船が大型化しておりますので、どのような泊地とか航路を計画すべきか、それをこのAISというシステムを分析しようということで研究をしております。

まず最初に、AISについて御説明します。AISは米国のテロを契機に義務づけられました、2008年から300総トン以上の国際航路の船、あるいは国内船ですと500総トン以上の船に設置が義務づけられております。船から船の情報、

あるいは位置、速度、そういうものが発信されております。それを陸上側のアンテナを立てて受けることができる、そういうシステムでございます。

**NILIM-AISの開発**

〇船舶動静に関わるAISデータの取得、蓄積を行い、データ分析

- ・9基地局のネットワーク
- ・受信局から半径約60kmの船舶動静を監視可能

カバー範囲  
海経海経、東京湾、大鵬湾、伊勢湾、瀬戸内（一部地域は不可）、新潟、秋田

・データは、インターネット経由で、国総研のDBに随時蓄積

NILIM-AIS受信局

〇AISアンテナ(千葉)

9

アンテナを立てると受けることができるので、国総研では、全国の地図に示しましたとおり、9カ所にアンテナを立ててこういう船のデータを蓄積してございます。1つのアンテナで大体半径60キロ程度のエリアをカバーすることができますので、この地図に示した色のついた辺り、その辺の船の動向が国総研のデータベースとして蓄積されております。

**③AISを活用した船の航行・離着岸などに関わる動静分析**

1) 大型クルーズ船の着岸時の動静分析

大型化が進むクルーズ船

建造年	船名	総トン数	全長(m)	幅員(m)	吃水(m)	最大乗客数	最大乗組員数
1960年	舞島II	56,142	241	29.6	7.8	45	572
1960年	Sea Princess	77,441	261	32.3	8.1	50	1,900
2004年	Deiamond Princess	115,875	290	37.5	8.5	54	2,670
1999年	Voyager of the Seas	137,276	311	35.6	8.8	63	3,114
2009年	Oasis of the Seas	225,282	360	64	9.1	65	9,400

資料：国土交通省海技院船舶技術情報センター、株式会社ニッセイ

Mariner of the Seas (横浜港)

進化するクルーズ船の推進装置・操船など

- 可変ピッチプロペラ
- 二重反転プロペラ
- バウスラスタ
- ポッド推進器

これらに対応した港湾の計画・整備が必要

10

このデータを使って幾つか分析をしております。まず最初は、船の離着岸に関わる動静分析です。先ほどコンテナ船の大型化についてお話ししましたが、クルーズ船についてもどんどん大型化が進んでございます。

これは代表的なクルーズ船を書いたものです。コロナの影響で少しクルーズブームが止まりましたけれども、2014年以降、日本にはたくさんの大きなクルーズ船が来ました。寄港の港も

地方港を初めいろいろな港に寄港するようになりましたので、こういう大きな船が入れるかどうか、そういう検証が必要となってまいります。

一方、クルーズ船は、下に示しましたとおり、こういうプロペラについてもポッド推進器、あるいは船首の辺りにバウスラスタといって船が回転しやすくなるような施設、そういうものを備えておりますので、それらを踏まえて港の計画はどうあるべきか、そういう検討をしてございます。

**AISデータによるクルーズ船の離着岸の状況分析**

大型クルーズ船の回頭円規模(必要水域規模)の検証・・・AIS活用 (51ケース)

例：11万総トン クルーズ船(2018年7月の離着岸)

着岸時

7:20:39

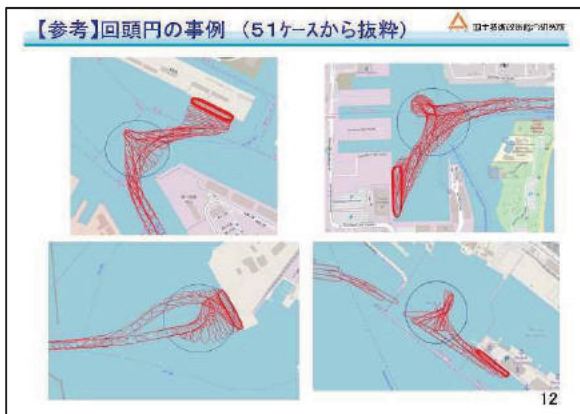
【参考】水域施設(泊地)

- ・自力による回頭の場合・・・直径3Lの円
- ・曳船による回頭の場合・・・直径2Lの円 (Lは対象船舶の全長)

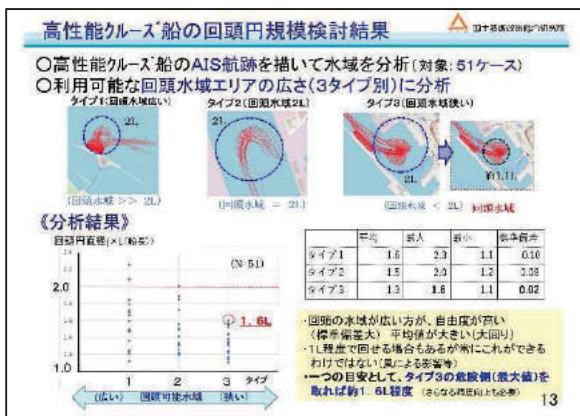
※十分な推力を有するスラスタを利用した回頭の場合には、曳船を利用した回頭の場合に準じる

11

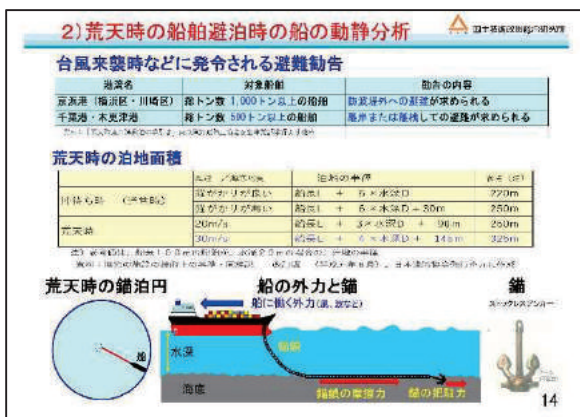
こちらがそのAISデータを使ってクルーズ船の入出港の状況を分析した例でございます。これは11万総トンクラスのクルーズ船が入港して離岸するまでの様子、AISのデータをビジュアル化したものでございます。これによって、右に描いていますとおり、どのぐらいの直径の円で回頭しているか、そういうものが分析できます。



全国の 51 のケースをいろいろ分析しました。この4つの例はその中の一部でございます。



51 のケースを少し分類して整理したのがこちらでございます。分類は、港の水域が直径2Lに比べて非常に広い場合をタイプ1、2L程度をタイプ2、2Lより狭い場合をタイプ3としまして、51 隻がどのぐらいの直径の円で回ったかをこのグラフのとおり整理してございます。一番狭いエリアで回ったケースでも 1.6L程度で一応回れているという分析結果が得られております。これは今後の計画等にも生かしていければと思っております。

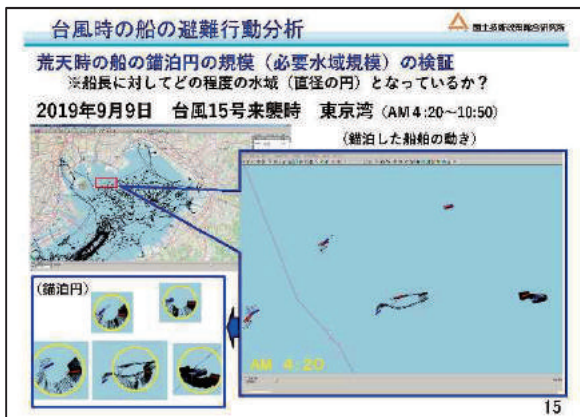


次に、台風などの荒天時の船がどのように動いているか、その分析もしてございます。台風などで強風の場合には、船は港に着いているとロープが切れて危ない等ございますので、この表に示しましたとおり、大型の船は岸壁から離れる、あるいは沖に行けという決まりになっております。

沖に行った船はどうするかといいますと、この絵に示しましたとおり、いかりを下ろします。

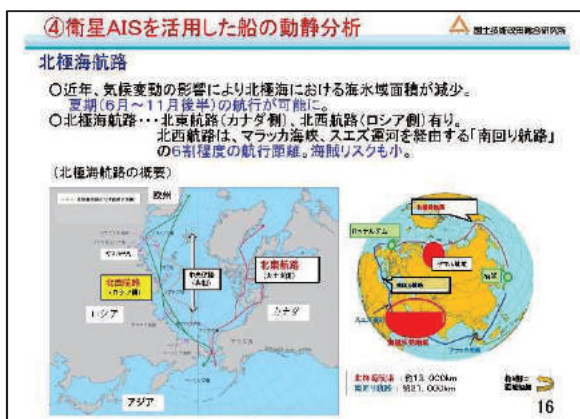
いかりを下ろして、いかりの爪が海底地盤の砂とか泥に引っかかる力と、いかりを伸ばして、そのいかりが海底との摩擦力を生むので、その2つの抵抗力によって船に働く風とか波の力に耐えるということをやっております。

いかりの長さがどのぐらい必要かというのは、真ん中の表に示しましたとおり、風速によっても異なりますけれども、大体水深の3倍から4倍程度、プラス 100メートル程度の延長が必要とされております。



この荒天時の船の状況も少し分析をしてございます。これは2019年9月の東京湾を台風15号が来襲したときの船の様子でございます。

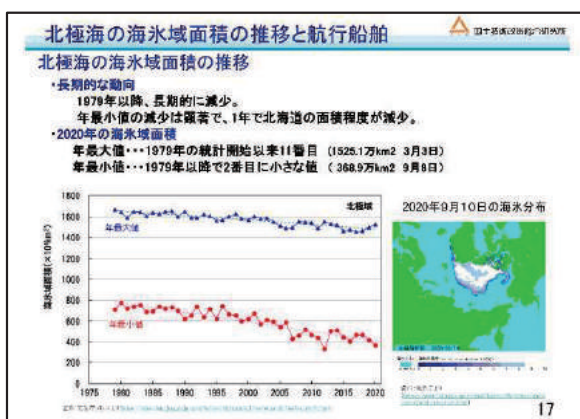
これは東京湾でございますけれども、多くの船が避難しておりましたが、そのうちの5隻分を拡大したのが右側のこの図でございます。船が時間と共に、風向きとかが変わりますので、動いている様子が分かると思います。それを基にすると、この下のように、どのぐらいの回頭円が必要であったかが分かる、そういう分析もしてございます。



AISの最後になりますけれども、衛星を用いた船の動静分析もしてございます。地球温暖化で北極海の氷がどんどん少なくなっております。夏場は特に少なく、6月から11月には船が航行できるようになっております。アジアから欧州に向かう北西航路、そして、カナダ側に向かう北東航路、こういった航路が利用可能になってございます。

北西航路の場合ですと、日本からヨーロッパへの輸送を考えると、スエズ運河を通るよりもはるかに短い距離で輸送できることになりまして、ロシアのヤマル地域、ここはLNG（天然ガス）のプロジェクトが動いてございますので、そういうものを日本に運ぼうとすると、欧州経路よりも北極海経路を使ったほうがはるかに効率よく運べるといことになります。ということで、北極海航路が注目されております。

北西航路の場合ですと、日本からヨーロッパ



これが北極海航路の氷の動向でございます。1979年以降の氷の面積でございますけれども、冬場と夏場、夏場は年を経るごとにどんどん面積が減っておりまして、2020年は観測以来2番目に小さな値、369万平方キロ程度になってございます。

これが夏場の氷の状況でございます。冬場と比べますとこの辺りが通りがやすくなっているという状況でございます。

### 北極海の船の航行

○通行可能時期 6月～11月  
 ○氷薄船殻を満たす船舶が必要  
 ○砕氷船のエスコート、北極海航路局(ロシア連邦)への申請が必要

キャパハン航行(海水海域での砕氷船先導)

タンカー 砕氷船

#### 極地水海船階級(IMO)

階級	氷の状況および船舶の構造	氷厚の限界 (cm)	航路
PC1	すべての極地の水海船を航行させること	300以上	航路なし
PC2	中緯度中緯度の水海船が航行可能な極地航路を航行させること	200-300	Arctic航路
PC3	極地航路の一部航路を航行させること	200-300	Arctic航路
PC4	極地航路の一部航路を航行させること	120-200	Arctic航路
PC5	極地航路の一部航路を航行させること	75-120	Arctic航路
PC6	極地航路の一部航路を航行させること	50-75	Arctic航路
PC7	極地航路の一部航路を航行させること	30-50	Arctic航路

#### 夏季の通行許可例

	軽度の氷況	中度の氷況	重症の氷況
砕氷船エスコートは不要(単独航行)	航行許可	航行不許可	航行不許可
砕氷船エスコートが必要	航行許可	航行許可	航行不許可

注: 7-10月に連シベリア東部のアイスクラスic 4の船舶が航行する場合は、航行可能期間が延長される。

18

ただ、夏場といっても無条件に通れるわけではございませんで、ここに表がございますけれども、アイスクラス、ある程度氷を砕ける船、砕氷船を従えて、この船自体もある程度氷に耐える船、そういう船であれば、ロシアの北極海航路局に申請して通行が認められれば通れる、そのようになってございます。

### 衛星AISデータと北極海航路の航行隻数分析

衛星AISデータ

- 衛星を用い、遠隔地である北極海航路の利用状況等の衛星AISデータを取得。(2016年～宇宙航空研究開発機構(JAXA)等との共同研究を実施中)
- 定時性等について継続的に分析

#### 北極海航路を通過し欧州～アジア間を航行した船舶数

年	船舶数
2015	1
2016	2
2017	3
2018	4

19

その状況をAISを使って分析してございます。分析には今度はアンテナを立てるのではなくて人工衛星を使っております。JAXA(ジャクサ)さんと2016年から共同研究をしておりますので、だいち2号とかSDS-4、こういう人工衛星でAISのデータを受信して、そのデータを頂いて分析してございます。

こちらの図は北極海をどのくらいの船が通ったかという経年変化を示してございます。2015年以降どんどん隻数が増えていることがわかります。

### 衛星AISを活用した海水位置と航行ルート分析

月別の海水位置と航行ルートとの関係を図化した年間の利用可能期間を考察。

2019年7月 2019年9月 2019年10月 2019年11月

20

また、こちらは2019年の月別の氷の様子と船がどういうところを通ったか、そういう分析をしたものでございます。

### 衛星AISを活用した北極海航路の航行日数分析

海水の影響を受けやすい区間(東経80度～180度)について、所要日数をモニタリング。

途中の寄港等がなければ、おおむね5日～9日程度で安定的に航行している場合が多い。

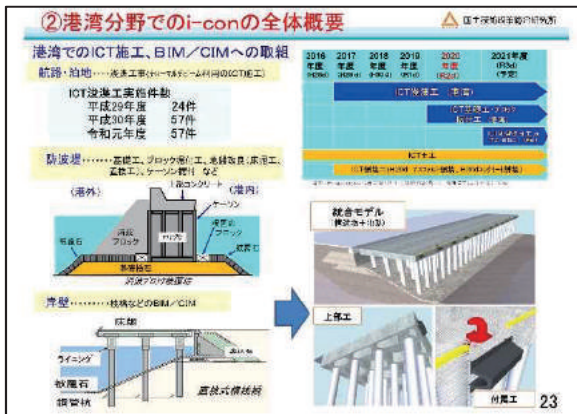
21

実際にかかった日数と速度、いろいろなことが分析できますので、月別にどのくらいの日数で北極海を抜けているかを分析したのがこちらでございますけれども、おおむね5日から9日程度、寄港地がなければその程度ということも分析できております。



次に、2番目のテーマ、港湾ICT施工に関わる研究についてお話しします。

こちらは港湾の施設を示したものでございます。港湾には船が通る航路、あるいは回る泊地、波を防ぐ防波堤、船が泊まる係留施設、そのほかいろいろな施設がございますけれども、こういう水域施設、外郭施設、係留施設でICT施工や三次元データを用いたBIM/CIMへの取組みをしております。

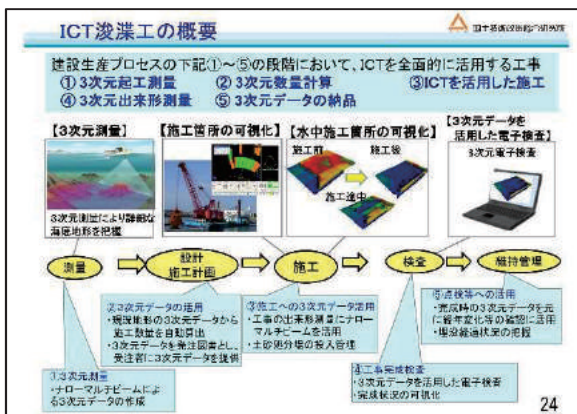


港湾分野での i-Construction (アイ・コンストラクション) の状況についてお話しします。ICTに関しましては、ICT土工が2016年度から始まりましたが、港湾のほうの浚渫(しゅんせつ)、海を掘る工事につきましては2017年度から開始しておりまして、ここに示しましたとおり年々件数を増やしております。

また、防波堤、水深20メートルとか30メートル、そういう海底に石を捨てまして、その上にブロックを並べて、コンクリートの箱、ケーソンを置いて、波消しブロックを置く、そういう構造が一般的でございますけれども、この工事につきましても、ブロックの据付けとか地盤改良などにつきましてICTを使って実施しようとしてございます。

また、防波堤、水深20メートルとか30メートル、

また、岸壁につきましても、栈橋構造といいますがBIM/CIM、三次元のデータを使って調査、設計からやるという取組を始めているところでございます。



この中でICT浚渫工に関して少し研究をしていますので、御紹介したいと思います。

ICT浚渫工は、現地盤がどうなっているか、その状況を三次元で測量する、あるいは施工時に施工の状況を三次元で把握する、可視化する、さらには納品時の情報を三次元で納品する、そういう流れでございます。



**【参考】浚渫工事の作業船など** 国土技術政策総合研究所

**クラブ式浚渫船**  
 ○航路や泊地の維持浚渫や、防波堤基礎の保修などに使用。  
 ○クレーンで吊下げられたグラブバケットで海底を掘削し、土砂を土運船に積み込む。  
 ○ロープの長さによって大水深に対応、クレーンの能力により大容量に対応できる。  
 ○小規模なもので4m3程度、大規模のものは200m3クラスのグラブバケットの容量。




**ポンプ式浚渫船**  
 ○航路、泊地の浚渫や臨海用地の造成等に活用。  
 ○ポンプ式浚渫船はラダー先端のカッターにより原地盤を掘削、浚渫ポンプにより大量に吸入・送泥。

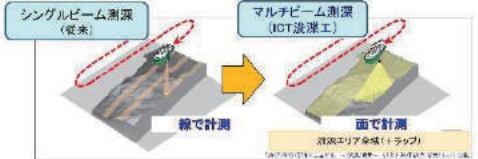



25

港湾におきましては、一般的にはここに示しましたとおり、クラブ式浚渫船やポンプ式浚渫船、こういうもので掘ってございます。工事の段階ではこういうところでちゃんと三次元の管理ができております。

**港湾での深浅測量について** 国土技術政策総合研究所

○深浅測量 浚渫工事（施工管理、出来高管理など）  
 ○計測方法 マルチビーム測深…全域の海底形状把握可能。  
 →土量計算の精度向上や、航行安全性の向上



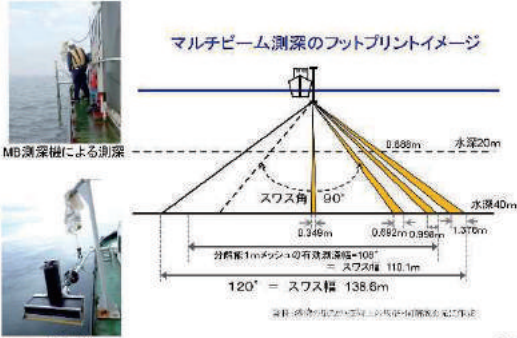
**【課題など】**  
 ①効率的なデータ処理  
 マルチビームは、莫大なデジタルデータであり、ノイズ処理が必要であるが、手作業で実施しており、時間を要している。  
 ②効率的な現場での測量  
 ・測量時のラップ率やビームの広がり角度（スワス角）をどのように改善すべきか？  
 （効率性vs精度）

26

また、実際の掘った後の水深、土量等を計るために深浅測量が必要となります。従来はシングルビーム測量といて、船が通った後だけ線で計るという方式でしたけれども、最近ではマルチビーム測量、電波を広がりをもって出して計るという方向に変わってございます。

**【参考】ナローマルチビーム測深機による測量** 国土技術政策総合研究所

**マルチビーム測深のフットプリントイメージ**



MB測深機による測深

MB測深機

27

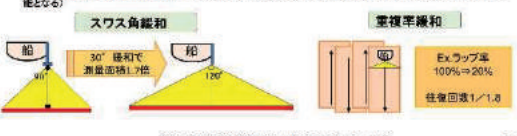
こちらがマルチビームのイメージでございますけれども、角度をもって計るということでございます。この角度が基準では90度になっていたのですけれども、ここをもっと広くすれば当然効率的になるではないかというところがございます。そこをどうするかという研究をしております。また、重なり具合をどうするかという話もありますので、それについても実際研究をしております。

**③浚渫におけるi-conの推進に関わる研究** 国土技術政策総合研究所

**マルチビーム測深におけるスワス角・ラップ率に関する分析**  
 マルチビーム測量関係者へのヒアリング意見をもとに、作業能力(時間・費用)の効率化に向けた検証項目の抽出。

**(ヒアリング意見)**  
 ・スワス角は、現基準の90°では作業効率が悪く、現在では110°～120°での測深が最も効率よく、測深精度においても差はあまり生じないのではないか。  
 ・重複率は、100%を推奨しているが、一般海域では有効測深幅の20%をオーバーラップさせることが一般的。

**改善に向けた検証項目**  
 スワス角拡大、重複率縮小の緩和に関する検討を実施(測量船の航行距離が減少が可能となる)



※ 両方なら往復回数 1/(1.7×1.8) → 1/3

28

こちらが研究の内容でございます。先ほど申しましたとおり、角度をどうするか、緩和できないかという話と、船が行ったり来たりする、その重複率を現在100%でやっていますけれども、それを緩和できないか、そういう研究でございます。

**スワス角・ラップ率の緩和に関する検証** 国土院研究開発研究所

**検証方法**  
 現基準のスワス角90° 重複率100%での浚渫土量を基準値とし、土量比較により検証を実施

**検討ケース**

- スワス角**  
 羽基準90°とより広角な120°、130°の3種類
- 重複率**  
 現基準100%と「海洋調査技術マニュアル-深淺測量-」記載の20%および2つの中間値となる60%の3種類

(検証組合せ)

組合せ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
スワス角	90°	90°	90°	120°	120°	120°	130°	130°	130°
重複率	100%	20%	60%	20%	60%	100%	20%	60%	100%
	基準値								

※スワス角90° 重複率100%を基準値として、ほか8通りの組合せにて土量比較

29

実際のところは、この表に示しましたとおり、角度を90度、120度、130度の3通り、重複率を100%のほか20%、60%、そういう8つの組合せで土量をもって検証するというを実際の現場を使ってやっています。

**スワス角・ラップ率の緩和による土量の変化の検証** 国土院研究開発研究所

**検証結果** ~起工測量における土量比較の検証結果~

【起工測量】土量比較検証(スワス角・重複率の3通り)

スワス角	重複率	増減率(%)
90°	100%	0%
90°	20%	0.05%
90°	60%	0.03%
120°	20%	0.02%
120°	60%	0.05%
120°	100%	0.16%
130°	20%	0.04%
130°	60%	0.17%
130°	100%	0.04%

※基準値(スワス角90° 重複率100%)との増減率(土量差)は、ソフトウェアAで最大0.16%。

30

こちらが結果でございますけれども、いろいろ条件を変えてやりましたが、土量に関していうと0.2%程度の差しかないもので、結構緩和ができるのではないかと、そういう結果になってございます。

**検討結果と成果の反映など** 国土院研究開発研究所

8通りのスワス角・重複率の組合せでの土量比較により、増減率(土量差)は許容範囲5.08%(注)未満であり、現基準の緩和が可能であることを確認

※1)許容範囲は、下記1)より算出(調査費削減率)10%以内での従来(現基準)より、最大削減率10%に設定。

改善の結果

スワス角拡大、重複率縮小の緩和をすることにより、測量船の航行距離を減少することができ、作業能力(時間・費用)の効率化につながることを期待できる。

成果の反映

マルチビームを用いた深淺測量マニュアル(浚渫工編)(令和12年4月改定版)に反映

(改定前) ...スワス角は 90° に設定するものとする。  
 (改定後) ...スワス角は、90° ~120° に設定するものとする。

※引き続き、更なる効率化を目指して、土量による評価に加えて、測量エリアでの測量深度の比較検証を実施中。

31

検討結果につきましては、土量も重なり率も緩和できそうだというのは分かったのですが、令和2年4月に改定されたマニュアルには、スワス角90度だったものを90度から120度に緩和する、そこが改定されてございます。

重なり率に関しましては、土量だけではなくて深さ自体が実際どういう精度になるか、そういうところをもう少し検証してから反映していきたいと考えているところでございます。

