

## 備讃瀬戸航路におけるサンドウェーブによる埋没傾向および浚渫効果の検証について

安田 弘希\*・林 洋介\*\*・佐藤 昌治\*\*\*

\* 前（一財）沿岸技術研究センター 調査部 研究員

\*\*（一財）沿岸技術研究センター 参与

\*\*\* 国土交通省 四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所 工務課長

備讃瀬戸航路の海底で発生するサンドウェーブによって、航路の告示水深を確保できない事象が度々起こり、十数年間隔で航路を浚渫しなければならないことが課題となっている。本検討は、備讃瀬戸航路におけるイノサキノツガイ地区（備讃瀬戸南航路と北航路の連絡航路周辺）に着目し、過去の深浅測量等の結果を整理して可視化することで、サンドウェーブによる埋没傾向を把握しつつ、過年度実施されたポケット浚渫によるサンドウェーブ発生抑制効果を経験式を用いて検証したものである。

キーワード：サンドウェーブ, 埋没, 浚渫

## 1. はじめに

備讃瀬戸は、瀬戸内海のうち岡山県と香川県間の海域の名称であり、その航路は、大阪湾・中国・四国・九州を結ぶ重要な役割を担っている。

備讃瀬戸航路（図-1）において、1975年頃からサンドウェーブ（波高数cm～数m、波長数m～数十mの連続した砂の波）の発生が確認されており、それらが航路埋没の要因となっている。サンドウェーブの峰が航路の告示水深を上回るため、備讃瀬戸航路では、浚渫作業が行われているが、十数年間隔で埋没が発生するため、繰り返し浚渫が必要となっている。

本稿では、これらの背景をもとに、備讃瀬戸航路のうち、イノサキノツガイ地区（備讃瀬戸南航路と北航路の連絡航路周辺で大小多数の島々・暗礁等に囲まれサンドウェーブが発生しやすい地区）に着目した近年のサンドウェーブ形成による埋没傾向を把握し、過年度（2001年～2005年）に実施された浚渫効果を検証することを目的としている。

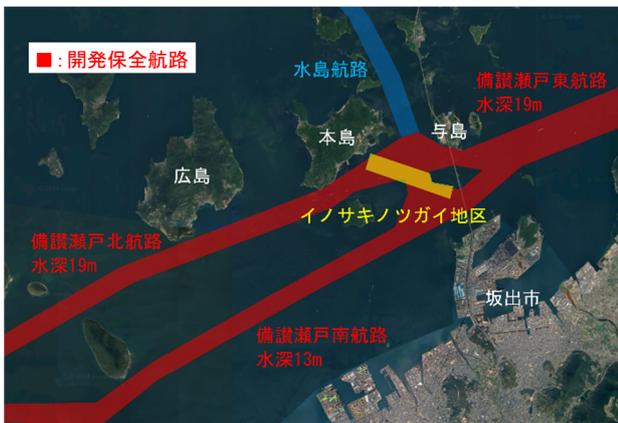


図-1 備讃瀬戸航路位置図

## 2. 埋没傾向の整理

## 2.1 概要

イノサキノツガイ地区において、過年度実施された浚渫後の埋没状況を視覚的に把握するため、深浅測量等の結果を取りまとめた。サンドウェーブの形成・発達に着目し、平均水深と最浅水深を整理した。

## 2.2 埋没傾向の整理方法

## (1) 各年測量間的水深変化

各年の深浅測量結果の差分を取り、イノサキノツガイ地区を拡大して作成した水深変化図を示す（図-2、図-3）。各図において、赤系の色は堆積傾向、青系の色は侵食傾向を表している。作成には、平均水深のデータを使用した。各図から、イノサキノツガイ地区の北西部（サンドウェーブ形成域）に赤と青のカラーコンターが筋状に描画されている。これは、サンドウェーブの移動を表している。代表的に2006年～2007年、2019年～2020年を示す。

なお、2006年は保全浚渫完了の翌年となっている。  
2006/11-2007/11

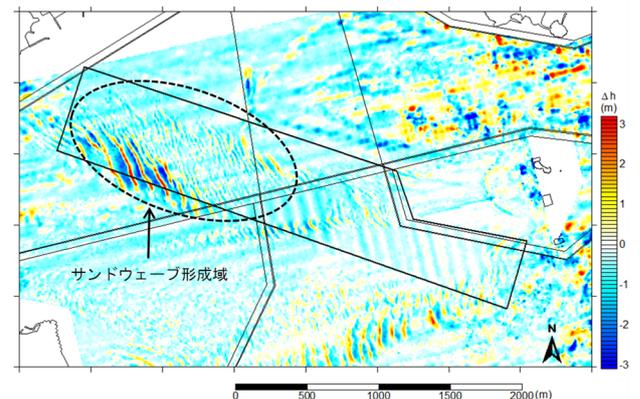


図-2 2006年～2007年の水深変化（平均水深）

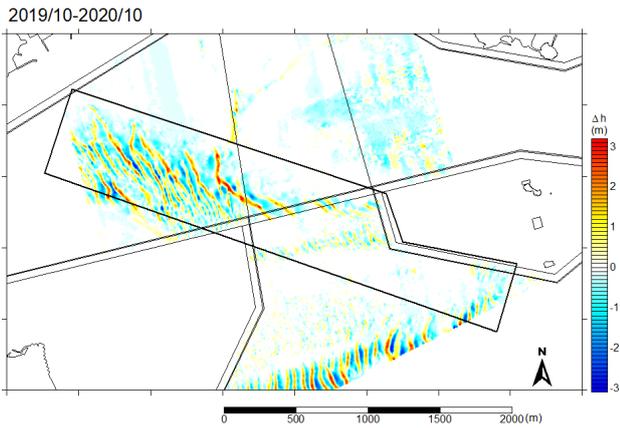


図-3 2019年～2020年の水深変化 (平均水深)

(2) 初期測量年を基準にした水深変化

作成した水深データから最も古い測量年である、2006年の水深を基準にし、水深変化図を作成した (図-4)。図中の赤系の色は堆積傾向、青系の色は侵食傾向をそれぞれ表している。図面作成には平均水深のデータを使用した。

イノサキノツガイの先端部 (北西側) から徐々にサンドウェーブが発達し、2012年以降 (図は2020年) は東の水島航路交差部側からも「く」の字型の大規模なサンドウェーブが西向きに移動している様子が確認される。

また、北航路のサンドウェーブ形成域と比較して、ポケット浚渫箇所では大きな地形変化は生じていない。

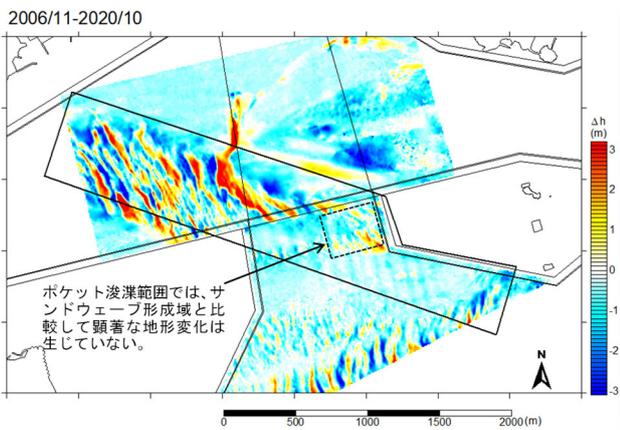


図-4 2006年～2020年の水深変化

(3) 地形断面

水深分布図から図-5に示す11本の抽出ラインを設定し、各年の地形断面を抽出した (図は2019年の水深分布図)。各地形断面において、サンドウェーブが顕著に発達している区間については、下段に拡大表示している (図-6)。図面作成には平均水深のデータを使用した。図中の赤矢印は、断面図から推測されるサンドウェーブの峰もしくは谷の進行方向を示す。代表的にライン6 (W6-E6) を示す。

図から、時間経過とともにサンドウェーブが移動する様子が確認される。大局的な移動方向は、東側では西方向に、西側では反対に東方向となっている。

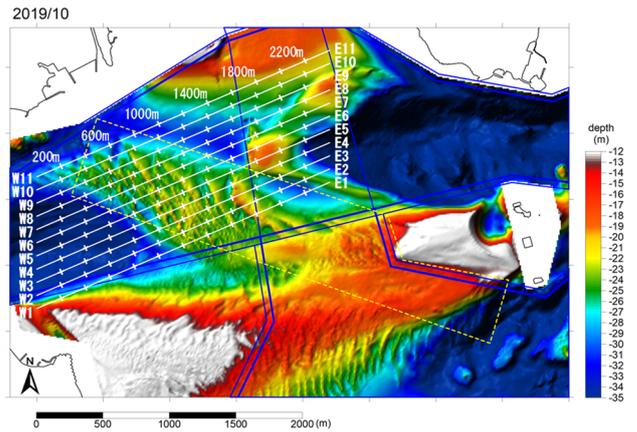


図-5 地形断面の抽出ライン

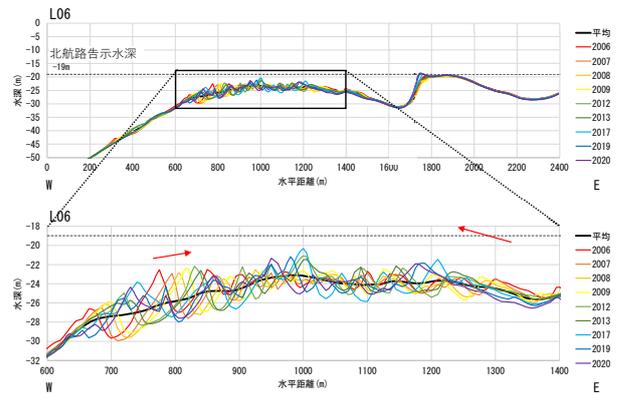


図-6 2006年～2020年の水深変化 (抽出ライン6)

(4) 最浅箇所の水深変化時系列

サンドウェーブの発達が大きい箇所を黒囲いで示す (図-7)。当該領域では、サンドウェーブの発達による水深減少の進行が確認できる。北航路の告示水深は-19mであり、堆砂の進行により、水深を確保できなくなることが危惧される。ここで、抽出ライン1～4の堆砂範囲について、最浅値を抽出し時系列的に整理した。最浅値の抽出は、図中の赤線で示す範囲を対象とした。何れの抽出ラインにおいても、年々水深が浅くなる傾向である。特に、抽出ライン1と3の堆砂は北航路の告示水深である-19mまで達している。代表的にライン3 (W3-E3) を示す (図-8)。

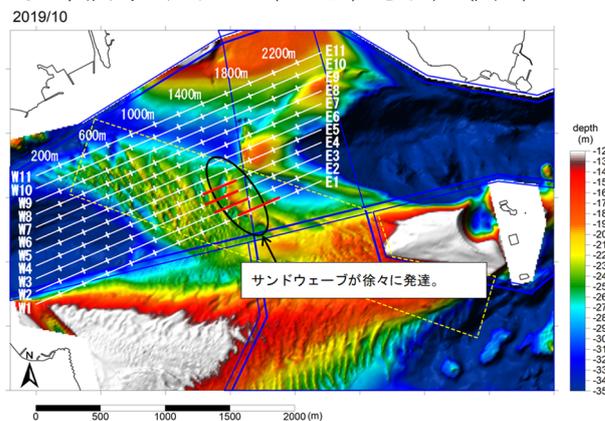


図-7 イノサキノツガイ地区におけるサンドウェーブの発達

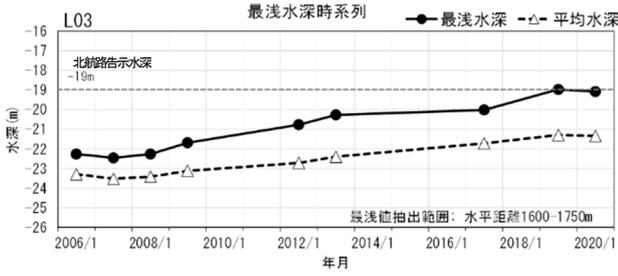


図-8 最浅値時系列 (抽出ライン3)

(5) サンドウェーブの移動速度

11本の抽出ライン(図-7)のうち、サンドウェーブが顕著に発達している区間において、全ての調査年のデータを用いて平均水深を求めた。抽出ライン上の水深から平均水深を差し引くことで土量の変化を平滑化し、測量期間が一定でないサンドウェーブの峰もしくは谷の移動の解釈をより簡便にした。図-9に抽出ラインにおける平均水深と各年の偏差を示す。代表的にライン4(W4-E4)を示す。

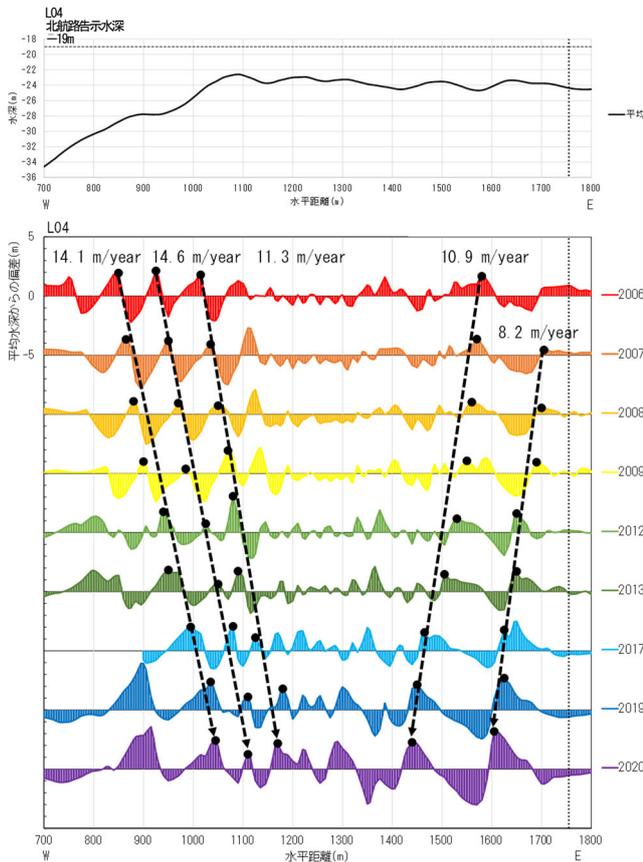


図-9 ライン4における平均水深(上図)と各年の偏差(下図)

(6) サンドウェーブの移動方向

時系列的な測量結果から推定したサンドウェーブの移動方向について、図-10に示す(黒矢印が移動方向)。収斂

域の周りで反時計回りの方向にサンドウェーブが移動する傾向があることを確認した。また、ポケット浚渫を実施した範囲では、土砂の移動方向が反転している様子が確認され、非常に複雑な土砂移動を示すことが確認できる。

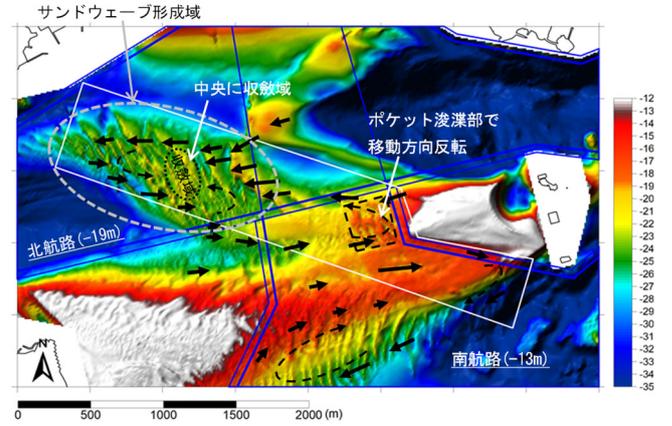


図-10 最浅値時系列 (抽出ライン3)

2.3 埋没傾向のまとめ

- ・浚渫後にフラットな地形となっていたサンドウェーブ形成域では、サンドウェーブの発達・移動により徐々に浅所化した。
- ・ポケット浚渫箇所ではサンドウェーブ形成域ほど顕著な地形変化は生じていない。
- ・サンドウェーブの進行は複雑な挙動であり、サンドウェーブ形成域では中央に収斂部が形成され、そこに向かってサンドウェーブが進行するとともに、その周囲では反時計回りに進行している。

3. 浚渫効果の検証

3.1 概要

前項の取りまとめ結果に基づき、イノサキノツガイ地区における埋没状況の整理を行い、領域毎に経年的な平均水深および最浅水深の変化の特徴を確認した。合わせて、同地区で過去に実施されたポケット浚渫によるサンドウェーブ発達抑制の効果を検証した。平成17年度サンドウェーブに関する報告書(以下、H17報告)を比較対象とし結果をまとめた。

3.2 検証方法

(1) 水深変化の経験式

イノサキノツガイ地区において、これまでに行われた浚渫(図-11の赤線で示す領域)の効果を検証するため、加藤ら<sup>1)</sup>にならい、①~⑨の領域を設定し、各領域の最浅水深の変化を以下の経験式により表現した。

$$H_{min} = \gamma + \alpha(1 - e^{\beta \cdot X}) + b \cdot X \quad (1)$$

ここで、 $H_{min}$ は最浅水深、 $X$ は浚渫後の経過年数、 $\alpha$ は平衡状態の最浅水深の漸近幅、 $\beta$ は平衡状態に達する速さ、 $\gamma$ は最浅水深の初期値、 $b$ は平均水深の変化速度をそれぞれ表す。

経験式の各パラメータについて、H17 報告時点のものを表-1、本業務で収集整理した平成 18 年 (2006 年) 以降の測量結果を再現するものを表-2 にそれぞれ示す。表-1 の  $\alpha$  については、H17 報告に浚渫後のモデル係数の記載がないため、元の平均水深と浚渫後水深の差を基に推定した。

表-1 と表-2 を比較すると、領域③～⑤の  $\alpha$  の値は同程度であるが、それ以外の領域における  $\alpha$  の値が小さくなっていることが確認される。これは、イノサキノツガイ地区の浚渫後に領域③～⑤以外の領域でサンドウェーブの波高が小さくなったことを示している。

平均水深が深くなると、潮流の流速が弱まって漂砂移動が減少するため、一般的にはサンドウェーブの発達速度も小さくなると考えられる。表-1 と表-2 の差は平均水深の差による影響が含まれるものと示唆される (ただし、サンドウェーブが最終的に発達する波高については、小笹ら<sup>2)</sup>によると、水深の 0.06~0.18 倍との整理結果があり、水深に応じて波高が大きくなる場合もある)。

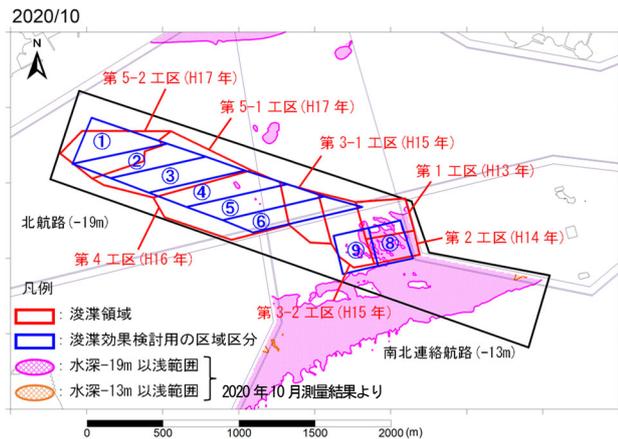


図-11 平成 13 年 (2001 年) ~平成 17 年 (2005 年) の浚渫範囲及び令和 2 年 (2020 年) 測量結果

表-1 領域毎のパラメータ (H17 年報告時点)

H17 報告書から推定した浚渫後の水深予測モデルの係数

	領域①	領域②	領域③	領域④	領域⑤	領域⑥	領域⑧	領域⑨
$\alpha$	-6.0000	-3.6000	-3.5800	-3.2500	-3.7500	-4.7000	-5.8300	-5.3000
$\beta$	-0.1139	-0.2771	-0.2782	-0.5582	-0.1934	-0.2405	-0.2317	-0.2659
$\gamma$	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	19.00	19.00
$b$	0.0160	-0.0265	-0.0318	-0.0732	-0.0571	-0.0671	-0.0645	-0.0199

表-2 領域毎のパラメータ (H18 (2006) 以降)

本業務での計算結果 (H18以降の測量データ使用)

	領域①	領域②	領域③	領域④	領域⑤	領域⑥	領域⑧	領域⑨
$\alpha$	-2.0905	-2.8976	-3.9688	-3.4671	-4.2844	-3.5207	-2.3014	-2.1336
$\beta$	-0.3410	-0.3188	-0.2250	-0.4676	-0.1438	-0.1131	-0.7476	-7.2790
$\gamma$	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	19.00	19.00
$b$	0.0203	0.0068	-0.0111	-0.0402	-0.0021	-0.0186	-0.0245	0.0164

(2) 最浅水深の時系列

経験式を用いて作成した最浅水深変化のグラフを領域毎に図-12、図-13 にそれぞれ示す (代表的に、領域①、④を示す)。なお、H17 報告に同じグラフが掲載されているもの (領域⑧以外) については、各図の左側に掲載している。また、本検討で作成した各図右側のグラフにはグレーの破線で当初予測として、H17 報告の予測結果からフィッティングした時系列を重ねて表示している。また、両グラフを比較した平均水深や堆積速度、サンドウェーブ発達の特徴について表-3 に示す。

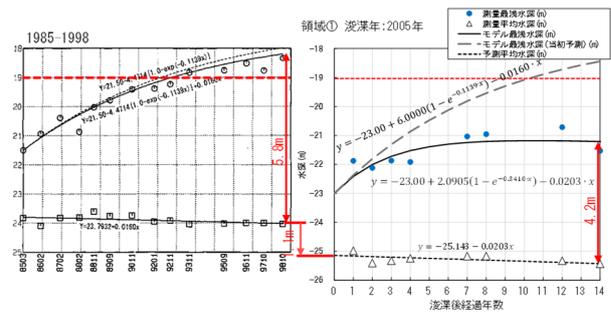


図-12 最浅水深と平均水深の経年変化 (領域①, 左: H17 報告掲載グラフ, 右: 本検討作成グラフ)

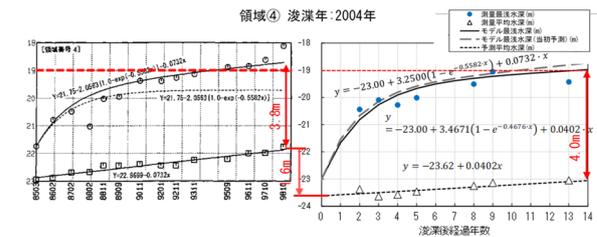


図-13 最浅水深と平均水深の経年変化 (領域④, 左: H17 報告掲載グラフ, 右: 本検討作成グラフ)

表-3 各領域のグラフの特徴に関する一覧表

	1998年以前と比較した2005年以降の平均水深	平均堆積速度	サンドウェーブの発達 (最浅水深-平均水深)
領域①	約1.0m深い	減少(-0.016m/yr⇒-0.020m/yr)	低減(5.8m ⇒ 4.2m)
領域②	約1.2m深い	減少(0.027m/yr⇒-0.007m/yr)	低減(3.8m ⇒ 3.9m)
領域③	約1.5m深い	減少(0.032m/yr⇒0.011m/yr)	増大(3.6m ⇒ 4.8m)
領域④	約1.6m深い	減少(0.073m/yr⇒0.040m/yr)	増大(3.8m ⇒ 4.0m)
領域⑤	約1.5m深い	減少(0.057m/yr⇒0.002m/yr)	増大(3.8m ⇒ 4.4m)
領域⑥	約2.1m深い	減少(0.067m/yr⇒0.019m/yr)	低減(4.5m ⇒ 3.8m)
領域⑧	1998年以前のデータ無し		
領域⑨	約2.0m深い	減少(0.067m/yr⇒0.019m/yr)	低減(4.5m ⇒ 3.8m)

(3) 平均堆積速度の比較

H17 報告では 1985 年~1998 年 (14 年分)、今回検討は 2006 年~2020 年 (15 年分) の測量結果を使用し、解析を行っている。既往検討と今回の各領域における平均堆積速度の比較を図-14 に示す。総じて、既往検討時よりも今回の平均堆積速度が小さくなっており、対象領域への周辺からの土砂供給が少なくなったことを表している。ただし、土砂供給量の減少要因は、現時点で明確になっていない。

領域③~⑤については、平均堆積速度の低下により最浅水深が計画水深に到達する時間は遅くなるものの、サンド

ウェーブの発達(最浅水深-平均水深)は増大しており(表-3), H17 報告の水深変化予測と同程度の変化が見られ, いずれは計画水深に到達することが予測される結果となっているため, これら領域での維持浚渫は今後も必要である.

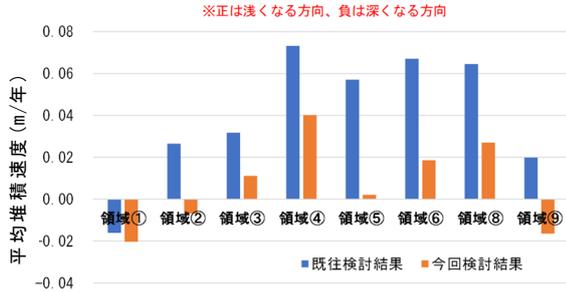


図-14 各領域の平均堆積速度 (水深変化速度) の比較

### 3.3 ポケット浚渫の効果

平成 13 年~17 年のサンドウェーブ調査業務において, 航路保全区域(イノサキノツガイ地区)におけるサンドウェーブの形成過程や土砂供給源についての検討が実施された. その検討結果を基に, サンドウェーブ形成域への土砂供給を減らすべく, 三つ子島背後収斂域にポケット浚渫が計画され, 北航路南側法線の南側領域(図-15 中のピンクの範囲)で実施された.

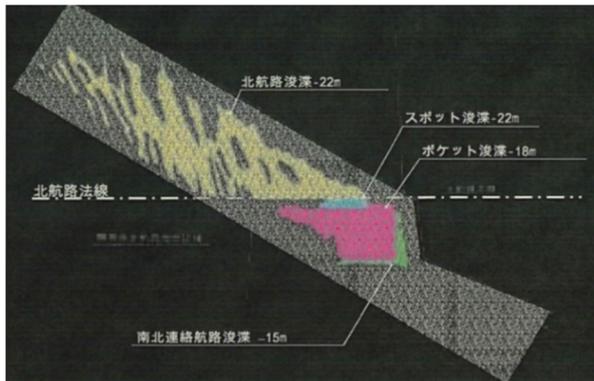


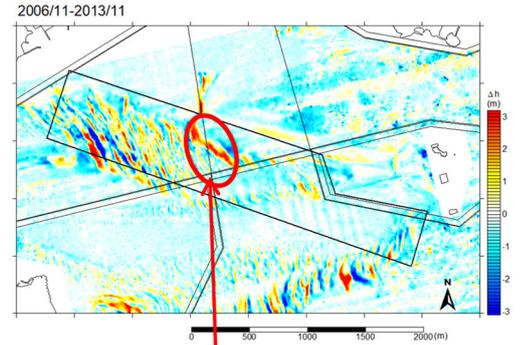
図-15 イノサキノツガイ地区のポケット浚渫位置

#### (1) 領域⑥に関する考察

表-4 に, H17 報告より引用した各領域における浚渫水深ごとの計画水深到達年数を示す. ポケット浚渫を実施しない場合, 領域⑥では-23m まで浚渫を実施しても 6.1 年で計画水深の-19m まで水深が浅くなると予測されていた. しかし, 実際は図-16 に示すように, 最浅水深は予測を下回っており計画時の予測より浅所化は進まなかった.

表-4 浚渫水深ごとの計画水深到達年数 (H17 報告より)

浚渫水深 (m)	平均水深変化を含む								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑧	⑨	
23	10.40	16.50	15.00	10.50	11.60	6.10	—	—	
22	8.70	15.30	13.90	9.80	10.10	5.20	12.30	42.70	
21	6.70	13.70	12.30	8.90	8.20	4.00	11.80	42.20	
20	4.00	10.80	9.40	7.10	5.30	2.40	11.20	41.60	
19	—	—	—	—	—	—	10.50	41.00	



領域⑥ 浚渫年:2003年

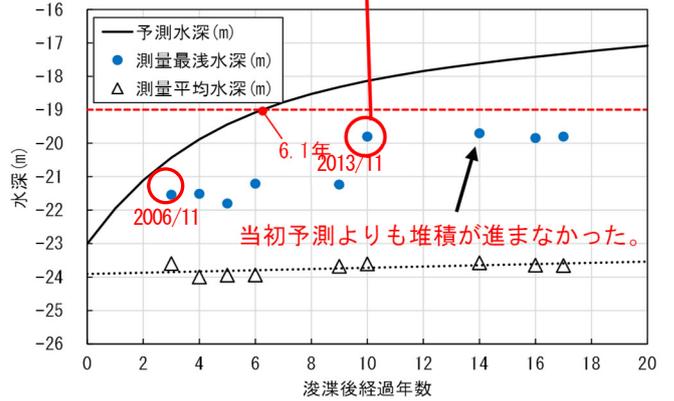


図-16 予測水深と測量最浅水深 (領域⑥)

#### (2) 領域⑧に関する考察

表-4 より, 領域⑧を-19m まで浚渫した場合, 南北航路交差部の計画水深である-13m まで浅所化する期間は 10.5 年であると予測されていた. しかし実際は, 図-17 の測量最浅水深で確認できるように, 予測よりも堆積が進まなかった.

領域⑧ 浚渫年:2002年

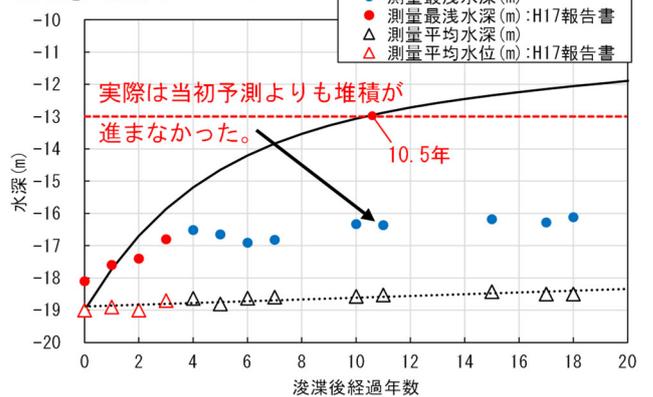


図-17 予測水深と測量最浅水深 (領域⑧)

(3) 領域⑨に関する考察

図-18に領域⑨の最浅水深と平均水深の経年変化を示す。領域⑨では平均水深がポケット浚渫前より 2m 深くなった。また、ポケット浚渫後、不陸の頂部が浚渫前の平均水深と同程度となっており、顕著なサンドウェーブは形成されていないことが確認された。

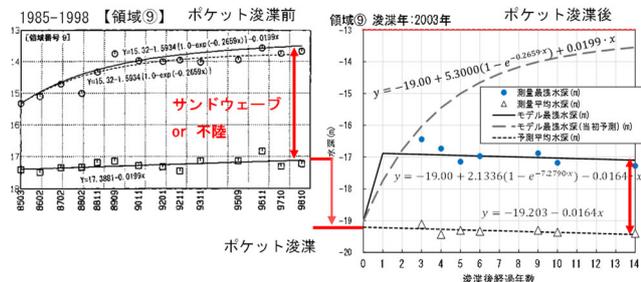


図-18 最浅水深と平均水深の経年変化 (領域⑨)  
左：H17 年報告掲載グラフ (ポケット浚渫前)、  
右：本検討作成グラフ (ポケット浚渫後)

3.4 検証結果のまとめ

(1) 水深変化の傾向

- ・イノサキノツガイ地区内を①～⑥, ⑧, ⑨の計 9 領域に区分し、各領域の平均水深変化を、最浅水深変化を指数関数式の経験式 (H17 報告書から推定した浚渫後の水深予測モデル (表-1 参照) 及び本検討での計算結果 (表-2 参照)) で表現した。
- ・浚渫前の測量結果から作られた経験式 (H17 報告より) と本検討で作成した経験式の水深変化を比較し、全体的に平均水深が深くなったことで、浅所化が抑制されたことを示した。
- ・過去の検討で予測された水深変化と同程度の変化を示したのはサンドウェーブ形成域中央部の領域③～⑤のみであり、それ以外の領域では予測ほど浅所化は進行しなかった。
- ・領域毎の平均堆積速度の検討から、既往検討時よりも今回の平均堆積速度が小さくなっていることが確認された。これは対象領域への周辺からの土砂供給が少なくなったことを表している。
- ・ただし、土砂供給量の減少要因については、現時点で明確になっていない。
- ・領域③～⑤については、最浅水深が計画水深に到達する時間は遅くなるものの、いずれは計画水深に到達することが予測される結果となっているため、これら領域での維持浚渫は今後も必要である。

(2) ポケット浚渫の効果

- ・サンドウェーブ形成域では、特に中央部付近 (領域③～⑤) で漂砂の収斂域が確認されるが、ポケット浚渫により堆積は緩和の傾向を示している。
- ・ポケット浚渫エリア (領域⑧, ⑨) では浚渫後から現在まで顕著な堆積はない。

- ・ポケット浚渫エリア付近は、漂砂移動方向が反転する領域であり、サンドウェーブ形成域への土砂の移動経路の一つとなっている。
- ・今後も効果などについて確認していく必要があると考えている。

以上の結果から、ポケット浚渫によってサンドウェーブ形成域への土砂供給量が低減し、サンドウェーブ形成をある程度抑制する効果が確認された。

4. おわりに

今回の検討において、備讃瀬戸航路におけるサンドウェーブによる埋没傾向を把握することができ、過年度実施された浚渫効果を検証することができた。

ただし、検証結果では、航路水深が維持できる期間は長くなるものの、今後も水深を確保するための浚渫が必要であるため、より効果的な浚渫方法を考察する必要がある。

謝辞

本稿は、国土交通省 四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所発注の備讃瀬戸航路埋没対策技術課題検討業務の成果の一部をまとめたものである。

調査にあたっては、海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 中川特別研究主幹より、貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 加藤一正・久米秀俊・黒木敬司・長谷川準三：備讃瀬戸航路のサンドウェーブと航路保全, pp. 686-690, 海岸工学論文集, 第 44 巻, 1997.
- 2) 小笹博昭：備讃瀬戸航路における海底砂州, サンドウェーブの調査, 港湾技術研究所報告, 第 14 巻, 第 2 号, pp. 3-45, 1975.