

備讃瀬戸（イノサキノツガイ）周辺の地形変化 に及ぼす浚渫の影響について

INFLUENCE ON THE TOPOGRAPHY IN THE VICINITY OF
INOSAKINOTSUGAI BY DREDGING NAVIGATION CHANNEL NAMED
BISAN-SETO

齊藤嘉造¹・清家清²・高橋吉弘³・栗山善昭⁴・原崎恵太郎⁵・宇野喜之⁵
Yoshizo SAITO, Kiyoshi SEIKE, Yoshihiro TAKAHASHI, Yoshiaki KURIYAMA,
Keitaro HARASAKI and Yoshiyuki UNO

- ¹国土交通省 四国地方整備局 港湾空港部 (〒760-8554 香川県香川県高松市サポート3-33)
²国土交通省 四国地方整備局 高松港湾・空港整備事務所 (〒760-0011 香川県高松市浜ノ町72-9)
³国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 (〒760-0017香川県高松市番町1-6-1)
⁴正会員 博(工) 独立行政法人 港湾空港技術研究所 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)
⁵正会員 修(工) 株式会社エコー (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

Bisan-Seto Channel, which is maintained and controlled by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, is a very important main channel ranging from the east and west of Seto-naikai Sea. In the vicinity of the channel the sand bar shallower than 20m is extended from Mitsuko Island to the North West and sand waves on the surface of the sand bar impede safe traffic of vessels in the channel. Dredging work of about 2.2 million m³ was conducted during 1981 and 1983 as the first phase project. For decreasing sand deposits on Inosakinotsugai and maintaining the channel, the second phase dredging of 960 thousand cubic meters was carried out during 2001 and 2005 with constructing trenches at the places for sand deposits likely to be caused.

The paper discusses the influence of dredging on annual average topographic changes around Inosakinotsugai, comparing time-series volume of sand deposits between with- and without-dredging cases. The calculation of the volume with numerical simulation of tidal current is performed by means of the Multi-level Model on the basis of the regular bathymetric survey results and the in-situ observation results of tidal currents and tides during August and September 2004.

Key Words: Bisan-Seto Channel, Inosakinotsugai, topographic changes, influence of dredging

1. はじめに

備讃瀬戸航路は、開発保全航路に指定されており、瀬戸内海を東西に結ぶ唯一の幹線航路として重要な航路である(図-1参照)。この周辺には、三ツ子島から北西方向に水深20m以浅の砂州(砂州名称:イノサキノツガイ)が延びているが、サンドウェーブを形成しているため、1981年~1983年に航路維持を目的とした第1期浚渫(合計約220万m³)が実施された。さらに、2001年~2005年度には、イノサキノツガイへの土砂流入箇所当たると想定された南北航路周辺でのトレンチを含む第2期浚渫(合計約96万m³)を実施し、北航路に対する土砂流入の軽減を目指した。

本研究は、備讃瀬戸航路で継続的に実施されて

いる深浅測量結果及び、2004年8月~9月に実施された現地調査結果を基に、多層レベルモデルによる潮流数値計算と地形変化計算を実施し、イノサキノツガイでの地形変化に及ぼす浚渫の影響を検討した。

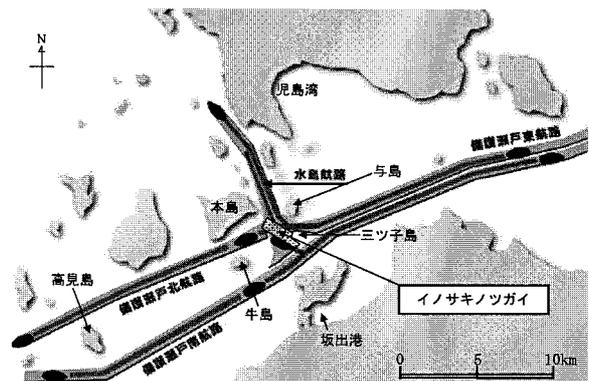


図-1 備讃瀬戸航路周辺海域図
(備讃瀬戸海上交通センターHPより抜粋)

2. 地形変化特性について

備讃瀬戸のイノサキノツガイ及び、その周辺では、図-2、図-3に示す範囲において深浅測量が行われており、狭領域においては1985年より1年1回、中領域においては2000年度より1年1回の深浅データの蓄積があり、大領域及び航路領域においては2000年度と2001年度、さらには2005年度からのデータの蓄積がある。図-3に示すI～V工区では、2001～2005年の5年間に96.2万 m^3 の浚渫が実施されている。

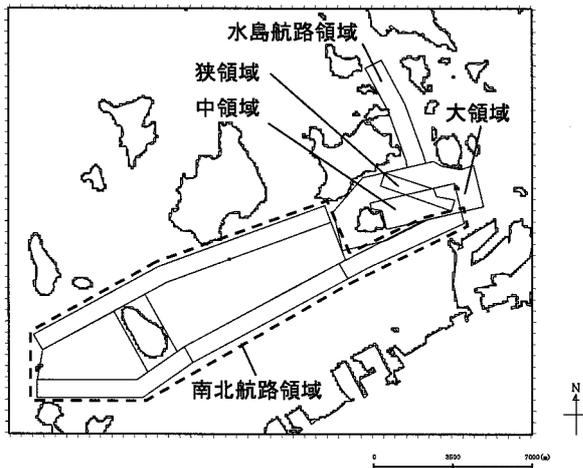


図-2 備讃瀬戸周辺の深浅測量範囲

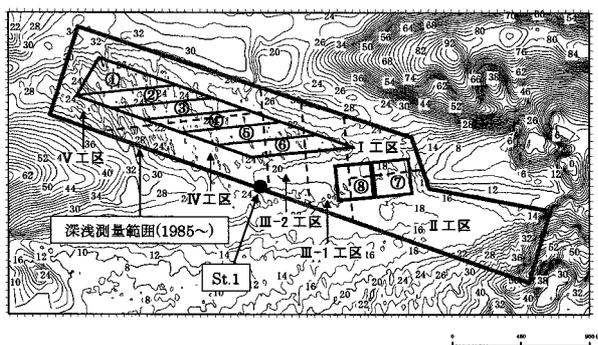


図-3 イノサキノツガイでの測量範囲と浚渫工区

狭領域を工区毎に分割し、各工区（図-3参照）における土量変化を検討する。図-4は、各工区の土量変化を示したものである。狭領域では、浚渫以前は、長期的にはIV工区における堆積とII工区における侵食が大きく、それ以外では大きな土量変化は生じていない。一方、浚渫後（2001年以降）には、IV工区では侵食が生じるとともに、V工区でも侵食が生じている。また、II工区でも依然として侵食が続いている。浚渫後のデータ取得期間はまだ短いものの、浚渫後は狭領域全域において土量が減少する傾向がみられる。

次に、加藤らの研究¹⁾にならい、狭領域を図-3に

示す8つの小領域に分割し、それぞれの領域における土量変化を検討する（図-5参照）。

浚渫が実施された期間での各小領域の平均水深の変化量（水深が深くなる変化を正值とする）は、小領域1～6では東側ほど大きくなり、0.12～2.0mであった。また、ポケット浚渫が行われた小領域7及び8では3.3m及び1.8mである。

浚渫前は、小領域4～6で堆積速度が大きく、小領域1では若干、侵食傾向にある。しかし、浚渫後（2001年以降）は、前述の解析でも見られたように、小領域4～6では侵食が生じており、ポケット浚渫を行った小領域7,8を含む他の小領域においても侵食が生じている。これらの結果は航路維持の観点からは望ましい地形変化傾向ではあるが、浚渫後から期間が短いため、この傾向が中・長期的に継続するかどうかを判断するためにはさらなる地形のモニタリングが必要である。

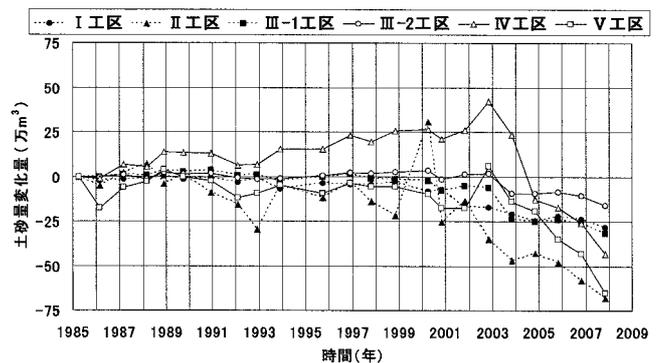


図-4 工区別土量変化量

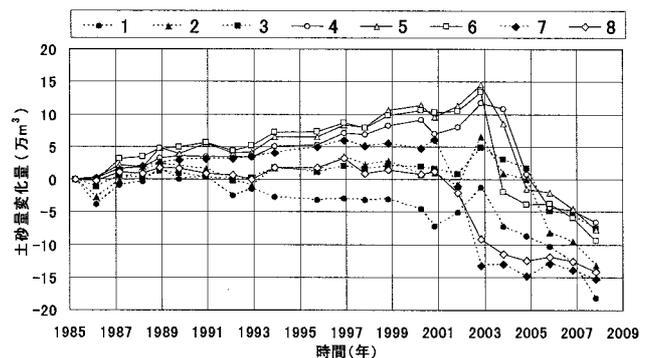


図-5 領域別土量変化量

3. 備讃瀬戸周辺の潮流の数値計算

イノサキノツガイでの浚渫が地形変化に与える影響を地形変化の数値シミュレーションを用いて検討するために、潮流の数値計算を行った。

(1) 計算条件

多層レベルモデル（鉛直6層）による潮流数値計算の計算領域を図-6に示す。また、図-3に現地調査

での観測地点 (St. 1) 及び、地形変化計算で年平均地形変化速度を算定した小領域1~8の位置図を示す。計算領域の格子幅は、広領域500mと狭領域100mのネスティングモデルを用いた。潮流計算では、東西の開境界①②にそれぞれ新居浜²⁾、引田²⁾での主要4分潮 (M_2 , S_2 , K_1 , O_1) の調和定数から推算した水位変動を与え、現地調査が実施された期間 (2004年8月26日~9月26日) を数値モデルの計算期間として実施した。表-1に、潮流数値計算の計算条件を示す。

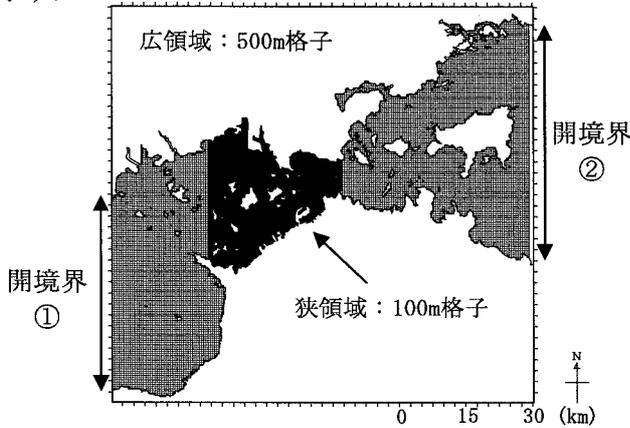


図-6 潮流数値計算の領域図

表-1 潮流数値計算の計算条件

| 項目 | 内容 |
|-------------------|---|
| 使用モデル | 多層レベルモデル |
| 潮流成分 | 主要4分潮成分 (O_1 , K_1 , M_2 , S_2) |
| 水深 | 海図データ：海底地形デジタルデータM7017 (財)日本水路協会 発行 測量データ：2004年度もしくは最も近い測量年データ |
| 鉛直層分割 | 全6層 1層目：0 ~ 4m 2層目：4 ~ 8m 3層目：8 ~ 12m 4層目：12 ~ 16m 5層目：16 ~ 20m 6層目：20 ~ 海底 |
| 計算期間 | 2004年8月26日~9月26日 |
| タイムステップ | 1.0秒 |
| 水平渦動粘性係数 | 広域：10.0 (m^2/s) 狭域：2.0 (m^2/s) |
| マンニングの粗度係数 (海底摩擦) | 0.025 ($m^{-1/3}\cdot s$) |

(2) 潮流楕円の比較

観測地点における流速について、調和分解を行い、主要4分潮の潮流楕円図による比較を行う。図-7、図-8に、St. 1での主要4分潮の潮流楕円の比較図 (上層、底層) を示したものである。潮流楕円を比較すると、観測値の流速が若干大きいものの、計算値は観測値を概ね再現している。ただし、観測値は水深方向の流速変化が小さいのに対して、計算値では底層で流速が小さくなる傾向にある。渦動粘

性係数や粗度係数を調整することにより、再現性が向上する可能性があると考えられる。

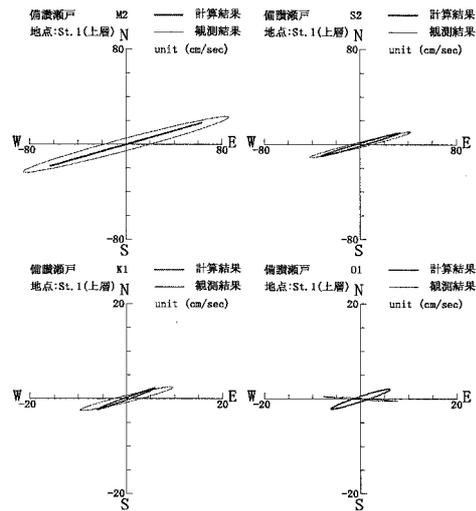


図-7 St. 1の潮流楕円の比較 (上層)

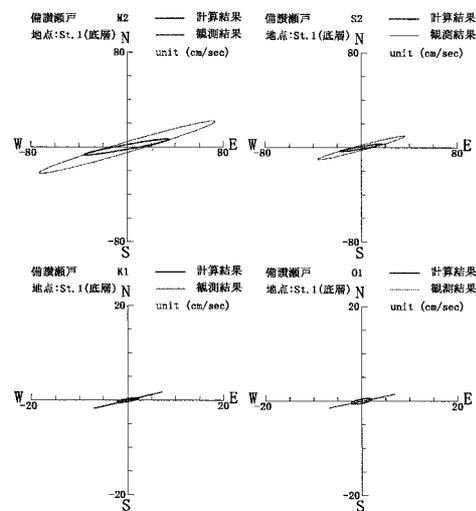


図-8 St. 1の潮流楕円の比較 (底層)

(3) 平面流速分布の計算値と観測値との比較

備讃瀬戸周辺における大潮の上げ潮、下げ潮時の底層での潮流の流速分布の計算値と観測値とを比較する (図-9参照)。なお、観測値は計算値とは同時刻で取得されたものではなく、別の大潮時に観測されたものである。計算は上げ潮時、下げ潮時ともに観測値の傾向を再現していると考えられる。上げ潮時においては、三ツ子島と与島間の海釜において西向きの流速値が大きく、三ツ子島の西側では流速値が小さい様子が計算で再現されている。一方、下げ潮時では、上げ潮時に比べて三ツ子島西側で流れが比較的一様である様子が計算で再現されている。

以上の潮流楕円の比較及び、平面流速分布の比較結果より、本潮流計算は、備讃瀬戸周辺の潮流を概ね再現していると判断した。

4. 備讃瀬戸航路周辺の地形変化の数値計算

(1) 計算ケースと計算方法

以下に示す2ケースについて、備讃瀬戸航路周辺の地形変化の計算を行った。

ケース1：浚渫前地形（2000年度の深淺測量を反映させた地形）

ケース2：浚渫後地形（2005年度の深淺測量を反映させた地形）

計算方法は、再現性を確認した潮流数値シミュレーションモデルを用いて、主要4分潮の振幅、位相の下での小潮から大潮までの15昼夜の1時間毎の底層の潮流を計算した。次に、潮流計算で得られた流速を式(1)に示す渡辺ら⁴⁾の流れによる漂砂量モデルに与えて各格子点の漂砂量を計算した。求めた漂砂量の差から式(2)に示す底質の連続式（ある領域で流出する砂の量よりも流入する土砂の量の方が多ければ堆積）により15昼夜の地形変化量を計算し、それを基に1年の地形変化量を計算した。

$$q = A_c \frac{(\tau - \tau_{cr})U}{\rho g} \quad (1)$$

ここで、 q ：漂砂量、 A_c ：無次元係数、 τ ：流れによる底面摩擦応力の最大値、 τ_{cr} ：底質の移動限界摩擦応力、 U ：潮流の流速ベクトル、 ρ ：海水の密度、 g ：重力加速度である。底質粒径は、加藤ら¹⁾を参考とし、イノサキノツガイにおける底質の中央粒径が0.5～2.0 mmであることから1.0 mmを用いた。移動限界シールズ数は、清水ら³⁾より粗砂の場合の0.06を用いた。また、無次元係数 A_c は2.0、底面せん断力を求める際の底面粗度の大きさは底質粒径を用いた。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} \quad (2)$$

ここで、 z_b ：地盤高さ、 t ：時間、 x 、 y ：水平面上の直角座標、 q_x 、 q_y ：鉛直方向に積分された漂砂フラックス（堆積状態での空隙を含む有効体積で表示）の x 、 y 方向成分である。

(2) イノサキノツガイにおける地形変化

図-10(1)、(2)、図-11は、浚渫前後の地形に対するイノサキノツガイ周辺の地形変化速度の平面分布とその差分図を示したものである。また、図-12は各小領域における浚渫前後地形に対する地形変化速度の計算値と実測値（1985年～2000年）との比較を示したものである。

図-10より、イノサキノツガイでは、北西側、北東側、南東側で地形変化が発生している。また、イノサキノツガイの北東側では、地形変化が大きくなっている。この領域は、図-3に示すような水深30m～80mの海釜となっており、西向きの流速が特に

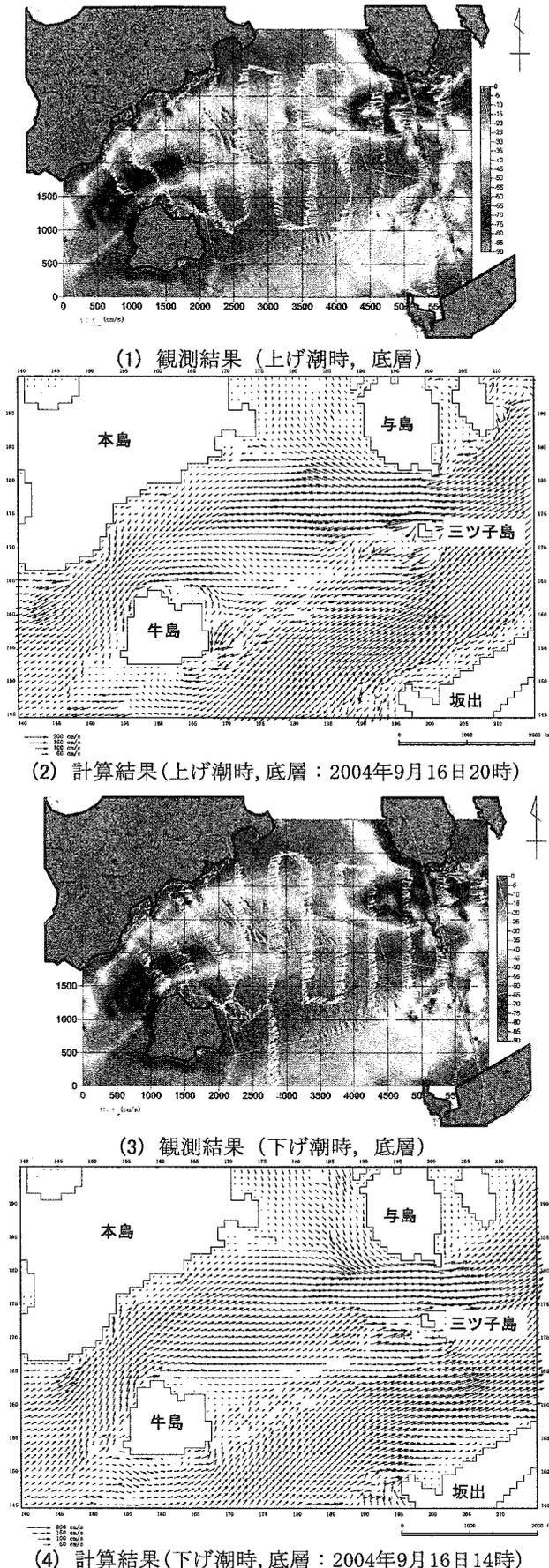


図-9 観測結果と計算結果の流速平面分布の比較

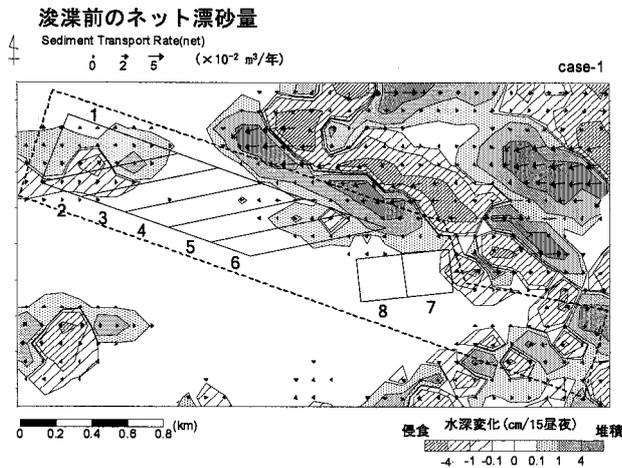


図-10(1) イノサキノツガイ周辺の15昼夜の地形変化計算結果(浚渫前地形)

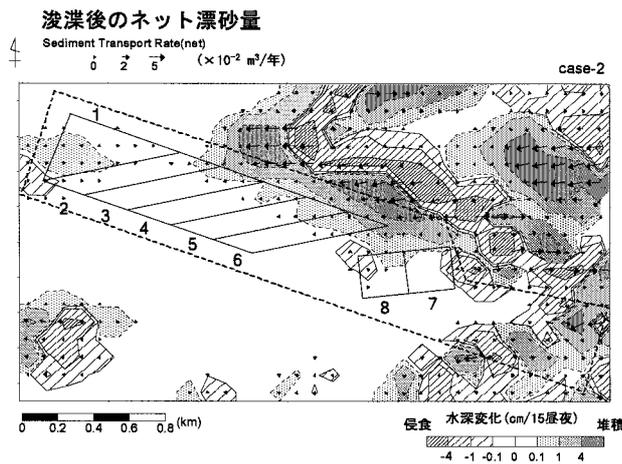


図-10(2) イノサキノツガイ周辺の15昼夜の地形変化計算結果(浚渫後地形)

浚渫前 비해 浚渫後の
(+) 堆積傾向
(-) 侵食傾向

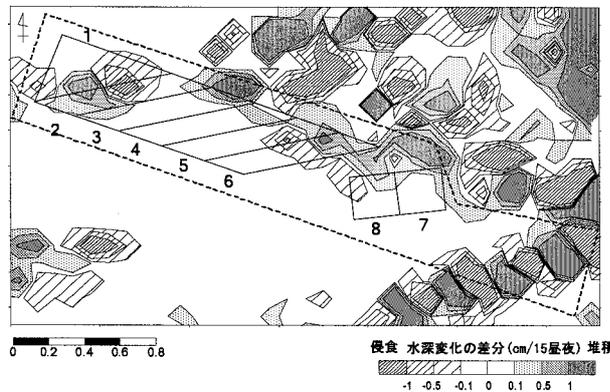


図-11 イノサキノツガイ周辺の15昼夜の地形変化計算結果の比較図(浚渫後-浚渫前)

強い領域となっていることが要因だと考えられる。

a) 浚渫前の地形変化

図-12より、計算は浚渫前の小領域の土量変化を

定量的にも比較的精度良く再現している。すなわち、小領域4, 5, 6における堆積量が小領域1, 2, 3よりも多い様子を計算は良く再現している。ただし、ポケット浚渫の行われた小領域7においては、実測では小領域4, 5, 6と同程度の堆積が生じているのに対して、計算では若干の侵食となっている。この領域での漂砂量が小さかったのは、ここでの摩擦応力が限界摩擦応力を下回ったからである。限界掃流力の設定方法を変更すると、本領域における地形変化の再現精度が向上する可能性がある。

以上のことから、計算は実際に生じている地形変化の特徴をある程度捉えていると判断し、以後、このモデルの計算結果を用いてイノサキノツガイでの浚渫の影響を検討する。

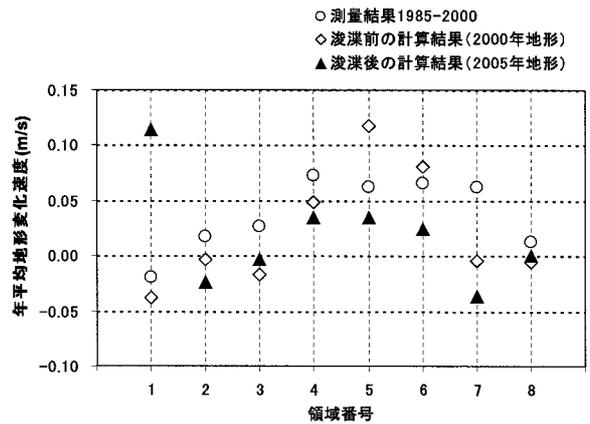


図-12 イノサキノツガイ周辺の地形変化速度の比較(計算結果と測量結果の比較)

b) 浚渫後の地形変化

図-12より、計算では、浚渫前に堆積量の大きい小領域4~6で堆積量が減少するとともに、ポケット浚渫の行われた小領域7においても地形変化量が浚渫前に比べて侵食側になっていることがわかる。この地形変化の傾向は、前述した浚渫後に各小領域で堆積量が減少しているという実測値を基にした検討結果と矛盾しない。

また、浚渫による地形変化傾向の変化原因を検討するために、図-13(1), (2)に浚渫前地形と浚渫後地形における上げ潮、下げ潮最強時の流況(計算値)の差図を示すとともに、図-14に浚渫前地形と浚渫後地形のネット(正味)の漂砂量の差図を示す。

図-13に示す流況図ではポケット浚渫箇所では流速が弱まり、周辺で強まる傾向がみられる。また、イノサキノツガイ中央部から西側には流れが0.2 m/s程度弱まる地点がみられる。これら浚渫前後の流況の変化は、水深が増大するとともに地形が滑らかになった効果であると考えられる。浚渫前後の地形変化の違いは、浚渫によって二次的に発生する流況の平滑化と流速の減少によって発生しており、現地での堆積量減少の要因であると推定される。

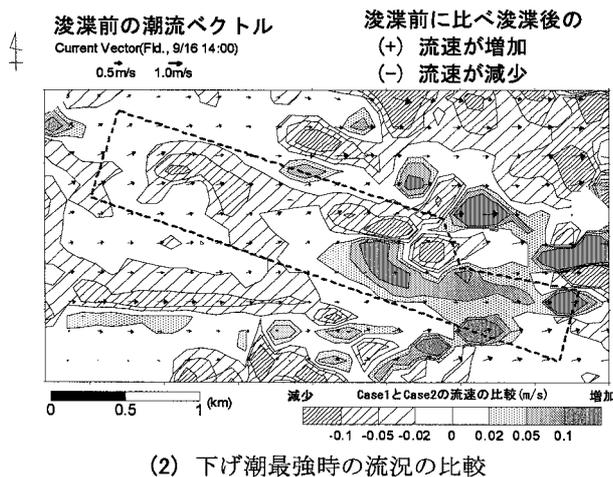
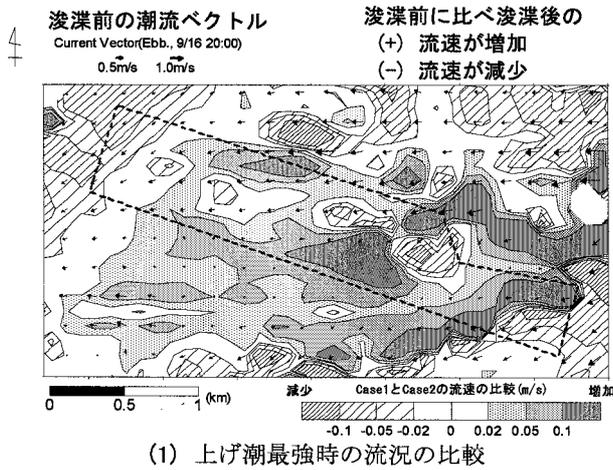


図-13 イノサキノツガイ周辺の流況の比較
(計算結果：浚渫前地形と浚渫後地形)

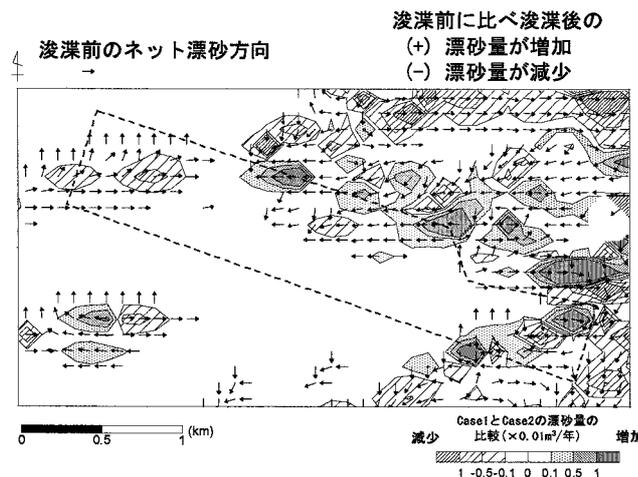


図-14 イノサキノツガイ周辺のネット (正味) の漂砂量の比較 (計算結果：浚渫前地形と浚渫後地形)

5. おわりに

イノサキノツガイ周辺の潮流及び、地形変化について検討した結果、以下の結論が得られた。

- ①イノサキノツガイ周辺の深淺データを解析した結果、浚渫後にはポケット浚渫領域を含めたイノサキノツガイ周辺で堆積が低減されているという特徴が確認された。
- ②潮流の平面分布の計算値と観測値を比較した結果、上げ潮時、下げ潮時ともに観測値の傾向を再現することができた。また、観測点での潮流の時間変動に関して、計算値と観測値の潮流楕円を比較した結果、両者の間で若干の相違はあるものの、計算値は観測値を概ね再現していると判断された。
- ③主要4分潮の振幅、位相の下での小潮から大潮までの15 昼夜の1 時間毎の底層の潮流の計算値と渡辺ら⁴⁾の流れによる漂砂量モデルを用いて地形変化を計算した。その結果、イノサキノツガイにおける浚渫前の地形変化は、計算結果の空間分布が実測とやや異なったが、イノサキノツガイを小領域に分割したときの土量変化量の計算結果は実測の地形変化傾向と良く一致した。一方、浚渫後の地形変化の計算結果は、ほとんどの小領域で堆積量の減少もしくは侵食の発生を示しており、実測値の傾向と一致した。浚渫前と後の潮流ならびに漂砂量の計算結果の比較からは、浚渫後に航路内において堆積量が減少した理由としては、浚渫によって二次的に発生する流況の平滑化と流速の減少が要因であると推定される。

今後の課題としては、引き続き地形変化を注意深くモニタリングし、浚渫の効果を確認していく必要がある。また、数値シミュレーションによる地形変化計算の精度向上のためには、潮流計算の精度をさらに向上させるとともに、漂砂量計算において限界掃流力の設定方法の検討や、底質粒径の空間分布も考慮した検討が必要と考える。

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, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 686-690, 1997
- 2) 海上保安庁 刊行: 日本沿岸潮汐調定数表 (書誌第742号), 平成4年2月
- 3) 清水琢三, 山田晶子, 渡辺晃: 沿岸漂砂量の岸沖分布と漂砂量係数, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 571-575, 1996
- 4) 渡辺晃, 丸山康樹, 清水隆夫, 榊山勉: 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 海岸工学論文集, 第31巻, pp. 406-410, 1984