

作滞の効果に対する評価手法 に関する研究

AN ACCOUNTING METHOD FOR CONSTRUCTION OF
WATER-ROUTE IN INNER HARBOR ENCLOSED COASTAL SEA

有田 守¹・出口一郎²・森 鐘一³・金澤 剛⁴

Mamoru ARITA, Ichiro DEGUCHI, Shoichi MORI and Tsuyoshi KANAZAWA

¹正会員 工博 大阪大学助手 大学院工学研究科 (〒565 大阪府吹田市山田丘2-1)

²正会員 工博 大阪大学教授 大学院工学研究科 (〒565 大阪府吹田市山田丘2-1)

³正会員 モリエコロジー株式会社 (〒540 大阪市中央区粉川町4-8-901)

⁴正会員 東洋建設株式会社 (〒663 兵庫県西宮市鳴尾浜1丁目25番地1号)

Many follow-up studies have already been carried out and they reported the effectiveness of the water-route to enhance exchange of water and improve water quality. However, at the planning stage of the construction of water-route, it is not easy to determine the appropriate plain arrangement of the water-route. In this study, the authors proposed a procedure for evaluating the effectiveness of the plain arrangement of water-route using the shear velocity in the objective region through numerical simulations of tidal current. Three types of plane arrangements were examined and found that the shear stress at the bottom clearly increased in the cases where the water-routes exist. However, we could not find any significant difference between three types of arrangements.

Key Words : Accounting Method, water-route, Enclosed coastal sea

1. はじめに

本研究で対象とする松阪港北部海域(図-1)は、1級河川の雲出川と櫛田川に挟まれ、伊勢湾海域に面するが、窪んだ部分で閉鎖性の海域ある。また、両河川河口域及び対象海域(三渡川河口域)は遠浅の海域で、大規模な干潟が存在する。両河川河口域のように伊勢湾に直接面する干潟は良好な底質状態で、干潟生物も多い。しかし、三渡川河口域は河川流量が少なく、閉鎖海域であるため海浜流もなく、他の海域と比較して、細粒分(シルト、粘土)が多く堆積し、有機堆積物(デトリタス)も多く、富栄養化していた。細粒分は詰まりを起こし、干潟内部の海水交換を阻害し、有機物は酸素を消費するため、干潟の底泥内部では酸化還元電位が-100mV以下となり、干潟生物の現存量は非常に少なくなっていた⁰⁾。

干潟は生物が生存する状態では、生産力も高く、漁業生産に寄与し、浄化機能も高く保全する必要があるが、富栄養化が進行し、生物が少ない場合にはある程度の人為的な改善や管理が必要であると考えられる。人為的な

管理の手法として、例えば作滞が考えられる。これは、引き潮時に滞筋周辺の流れが滞筋に集中することにより、流速が増加し、細粒分や有機堆積物が排出される効果が期待できる。対象とする松阪港北部海域(図-1)においても作滞を行うことにより海域に停滞する堆積細粒分の排出が検討されている。

しかし、作滞によるこれらの効果を定量的に評価する手法は筆者らの知る限り、提案されていない。そこで本研究では、数値シミュレーションを用いて、現況を再現し、計画された滞筋の流況予測計算を行い、流況の変化、それによる底泥表面の掃流力としての摩擦速度を算定し、現況及び計画された作滞形状(3パターン)の比較から、堆積細粒分の排出効果について掃流力に関して評価する手法を示すことを目的とする。

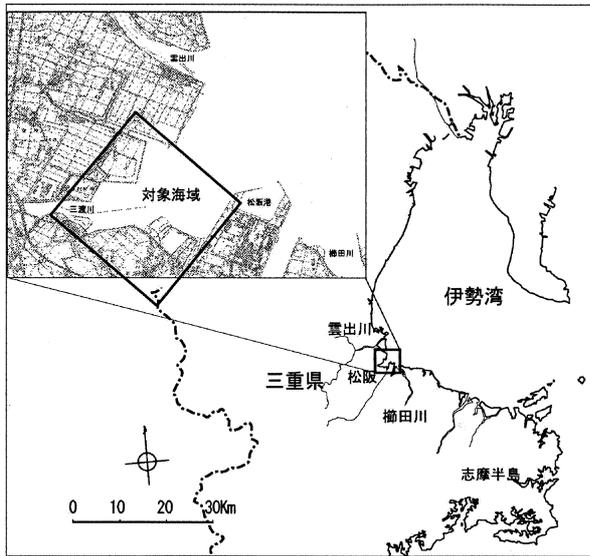


図-1 松阪港北部海域

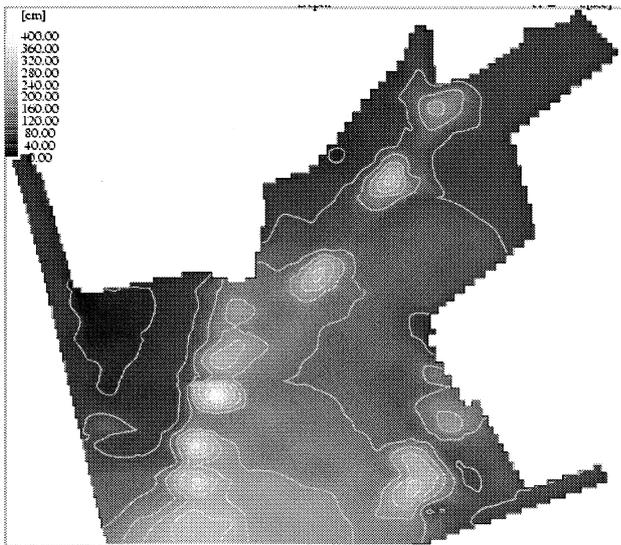


図-2 計算に用いた松阪港北部海域水深

2. 数値計算

(1) 計算手法

作濬工事による流況の変化を検討するために作濬工事パターンの違いによる数値シミュレーションを行った。数値計算は、汎用の数値計算モデル³⁾を用いた。基礎方程式を有限差分法によって離散化し数値解を算定している。海域を水平格子と鉛直層により計算セルに区分し、状態変数を速度成分セルの境界面上、温度や塩分等のスカラー量をセルの中心に配置するスタッガード法を用いている。差分法には陽的な時間発展解法を適用し空間微分に対しては中央差分スキームを用いている。但し対流/移流項には安定的な風上差分を用いている。また、本研究では計算領域での水深が非常に浅く干潮時に計算領域で干出する箇所があるためドライウェットを考慮している。ドライウェットの判定には、計算メッシュで水深が5cm以下になった場合に陸地と判定している。

計算に用いた地形メッシュデータは計算領域を241×

212要素に分割し各要素は10m×10mし、水深方向には1要素で各地点の水深を与えた。計算条件は、潮汐を外力として与え、計算のタイムステップは1sとした。

観測された大潮時の潮汐変動が周期14時間のcos波形と一致していたために本研究では数値シミュレーションにおいて潮汐外力を14時間のcos波形で与えた。

(2) 観測値との比較

本研究で対象とした松阪港北部海域は図-2に示すとおり2.5km×2.2kmの広さである。平均水深は、この海域での平均水面がD.L.+120cmであり、計算ではその水面を0cmとしている。海域の水深は、非常に浅く大潮干潮時には湾内の大部分が冠出する。本研究では作濬工事による流況の変化を評価することを目的とするため湾内12箇所の地点で大潮時の流速を計測した。観測日時は、平成17年8月19, 20日(大潮)に上げ潮と下げ潮の流速最強時に、電磁流向流速計を用いて行った。各観測地点のデータは同時刻のデータではなく12箇所(St.1-12)で最大1時間の計測時間の遅れがある。図-3に流向流速観測地点の位置を示す。図-3に示すSt.13-15は、次節の数値計算で流速の計算を行った地点である。

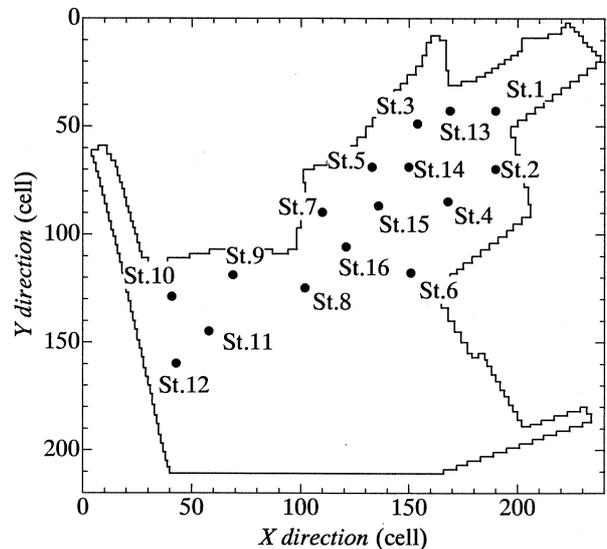


図-3 流向流速観測地点

図-4, 5に数値計算と観測結果の流向, 流速の比較結果を示す。横軸に流向流速観測地点の場所, 縦軸に流向, 流速を示してある。流向についてはSt.2, 11で観測結果と計算結果にずれがあるが、他の観測地点では良好な一致を示している。また、流速についても値が大きすぎる箇所もあるが計算結果は、観測結果を良く再現していると考えられる。観測値と計算値が一致しない箇所については観測時間の問題、計算に用いている地形データの問題が考えられるが、作濬工事による流況変化を十分に予測できると考えられる。

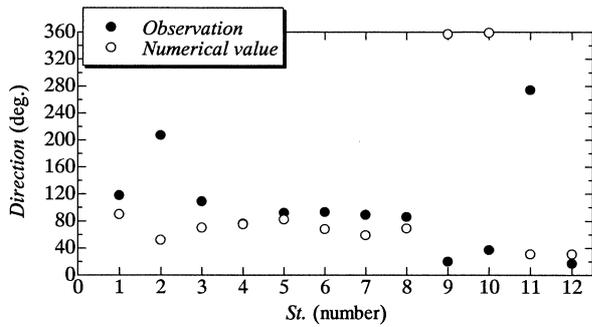


図-4 観測結果と数値シミュレーションの比較 (流向)

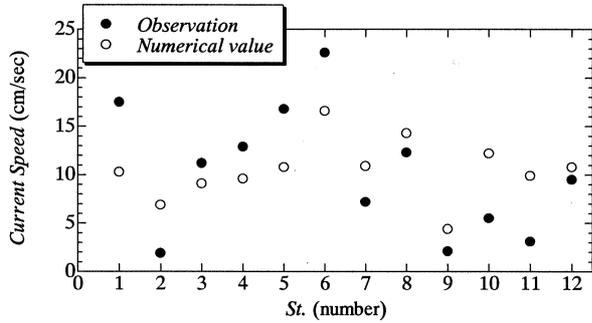


図-5 観測結果と数値シミュレーションの比較 (流速)

3. 作濬工事

(1) 作濬パターン

作濬工事を行う際には、様々な形状パターンが考えられるが、本研究では下記のような3つの形状について検討を行うこととした。図-6, 7, 8に作濬工事パターンのType-1, 2, 3を示す。作濬は図の左側に直線的な濬筋を配置することはどのTypeでも共通である。type1-3では図中央部に示す濬筋の形状が矢印の形状、十字の形状である事が異なる点である。掘削により排出される土砂量は、すべてのTypeで共通な直線の濬筋で39,440m³であり、矢印、十字形状の濬筋がtype1-3でそれぞれ、74,850, 65,620, 58,140m³と試算される。

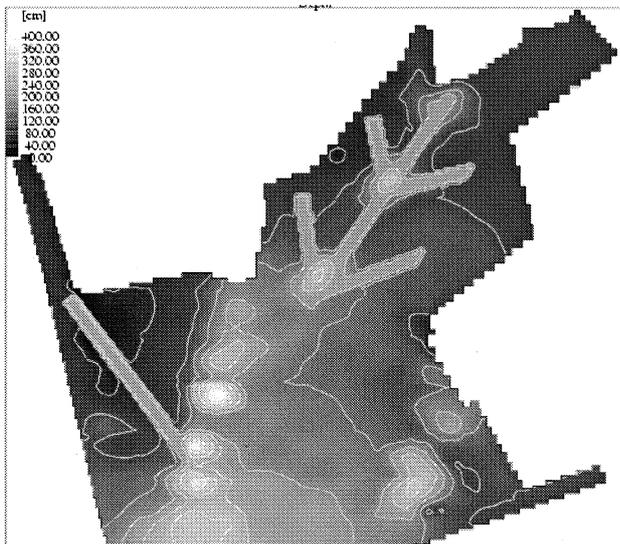


図-6 Type-1 作濬工事の水深図

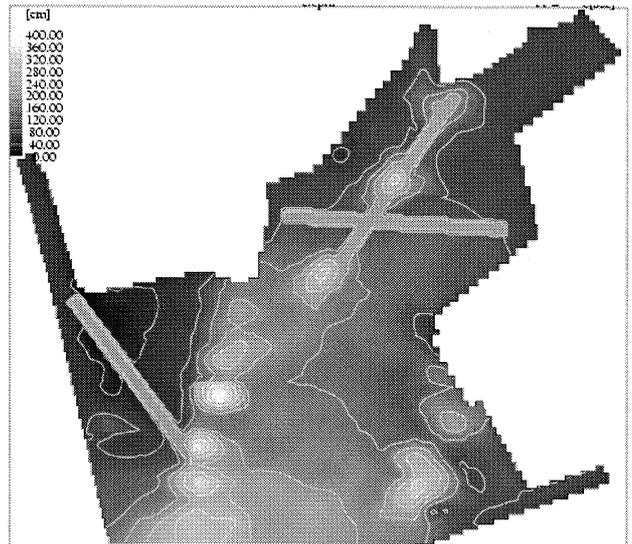


図-7 Type-2 作濬工事の水深図

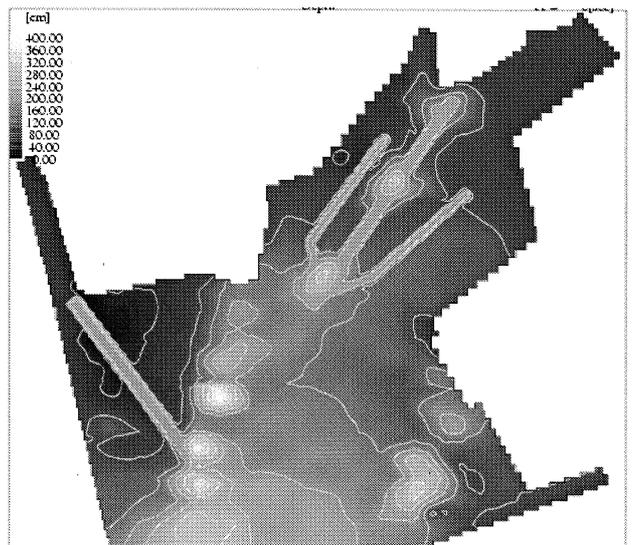


図-8 Type-3 作濬工事の水深図

(2) 作濬工事の違いによる流況の変化

図-9, 10, 11, 12は、それぞれ現況、Type-1, 2, 3の満潮から3.3時間後の流速ベクトル図である。満潮から約1時間後から干潟の干出が始まり3.3時間後には図のように干出する。作濬工事をしたどの工事のシミュレーション結果も濬筋に沿って比較的速い流れが生じていることがわかり、濬筋周辺の局所的な流速の変化が確認できる。

流速の増加は、引き潮時に停滞する水塊が水深の深い部分に集中して流れることによって引き起こされている。このために流速の増大は、干潮の直前に顕著に表れることから同様のことがいえる。

図-13, 14, 15にSt. 13, 15, 16において計算された流速の時間変化の計算結果を示す。これらの地点では、実測を行っておらず計算結果による比較である。図からもわかるように各地点で現況に対して流速が大きくなっているのは、干潮の2時間前だけであり、干出直前の水塊が作濬部に流れ込む現象によって流速が増加することが計算によって確認された。

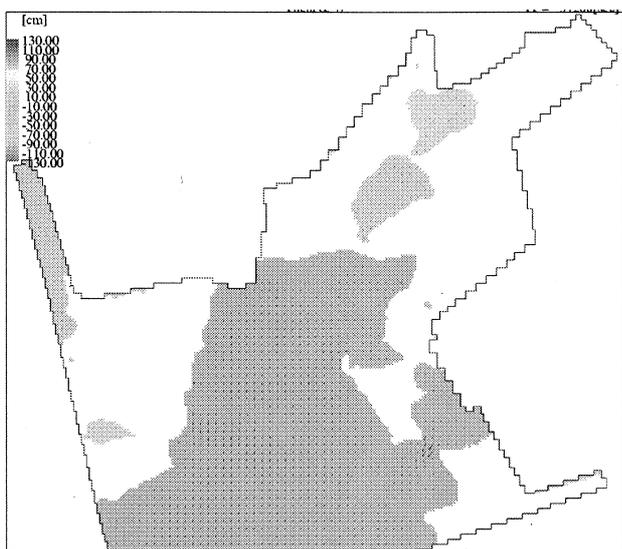


図-9 現況 流況の分布

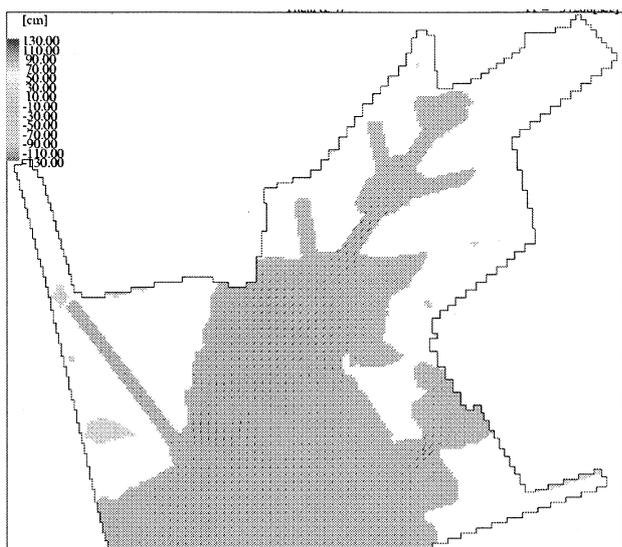


図-10 Type-1 流況の分布

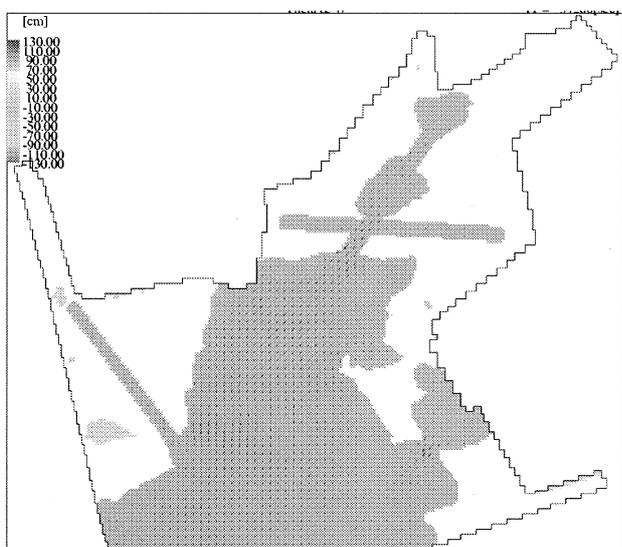


図-11 Type-2 流況の分布

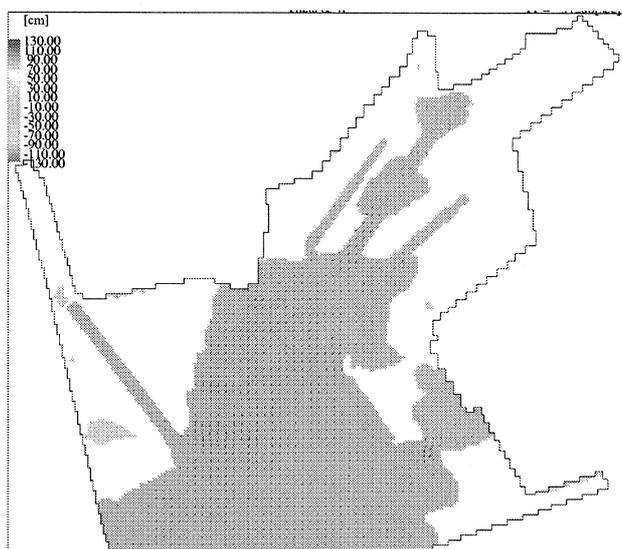


図-12 Type-3 流況の分布

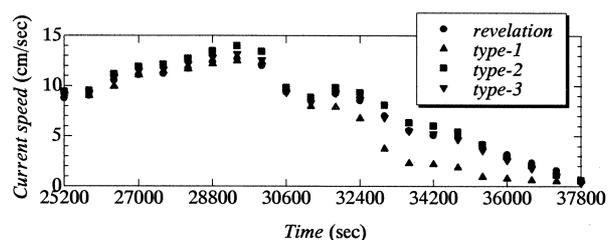


図-13 St.13の流速時刻暦

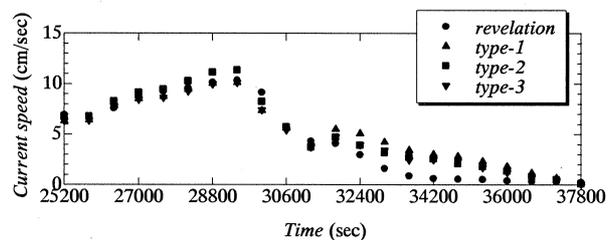


図-14 St.15の流速時刻暦

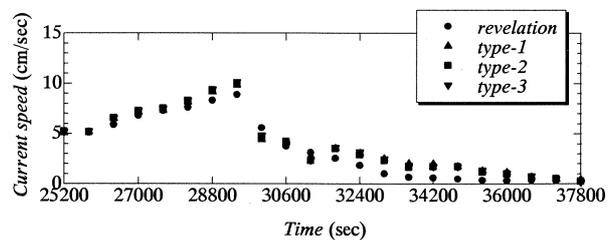


図-15 St.16の流速時刻暦

4. 作濤パターンの評価

3種類の作濤パターンの定量的な評価を行うにあたり、流速以外の様々な要因を検討したが、ここでは底質改善効果に着目し、作濤によって海底における腐泥の掃流力の増大という観点から評価を行う。すなわち、現況及び各作濤パターンの任意の計算時間において、全計算点の底部摩擦から計算される摩擦速度の出現頻度によって評価する。このとき、図-13~15より、干潮時より1.5時間以前では作濤の各パターンと現況の流速には大きな差異

が見られなかったことから、干潮1.5時間前から干潮までの間の計算結果を用いて比較を行う。

図-16～19は、干潮1.5時間前（32400 s）から0.5時間（1800 s）間隔で干潮時までの各時間における摩擦速度の出現頻度分布の比較を示したもので、横軸は摩擦速度 u_* 、縦軸は出現頻度である。なお、実測結果によると、対象海域の底質は、細砂及びシルトが大部分を占めている。そこで、シルトの代表粒径 d を0.005cm及び0.0075cmとし、それぞれの粒径のシルトの浮遊による輸送が生ずるかどうかを検討する目安として静水中の沈降速度 W_f をRubey¹⁾の式(1)に基づいて計算した結果も示してある。

$$w_0 = \sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) g d + \frac{36\nu^2}{d^2}} - \frac{6\nu}{d} \quad (1)$$

σ : 砂の密度(2.65 g/cm³), ρ : 水の密度(1.0 g/cm³), g : 重力加速度(980 cm/s²), ν : 水の動粘性係数(0.01 cm²/s), d : 粒径(cm).

通常、摩擦速度と静水中の沈降速度の比 u_* / W_f が1より大きくなると底質の浮遊が始まり流れに乗って輸送される。

図-16～19より、いずれの時間においても、作濤を行った後は、現況と比較して摩擦速度の大きい領域での出現頻度が顕著に増加する。特に、図-17に示す干潮前1時間においては75 μ m粒子が、図-19に示す干潮前0.5時間では50 μ m程度の粒子が、作濤によって浮遊状態が増加することが期待される。しかし、3ケースの作濤パターンによる顕著な差異は見出されなかった。検討した3ケースの作濤パターンのいずれが適当かを判断するためには、たとえば掘削土量（工費）などの他の判断基準を検討する必要がある。

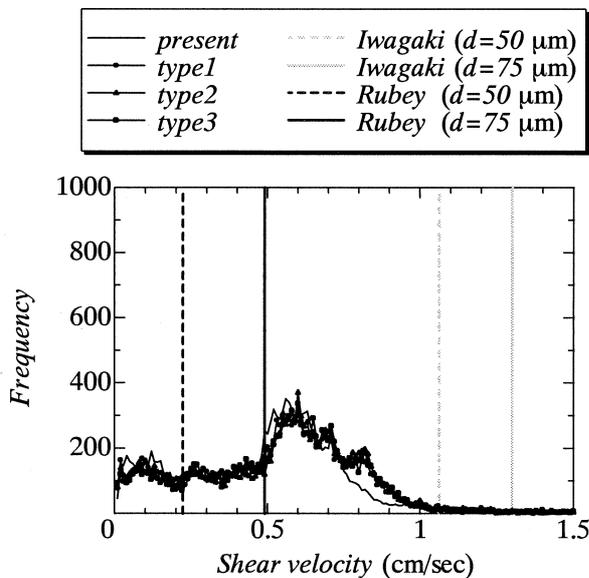


図-16 32400s時の移動限界摩擦速度の頻度分布（現況）

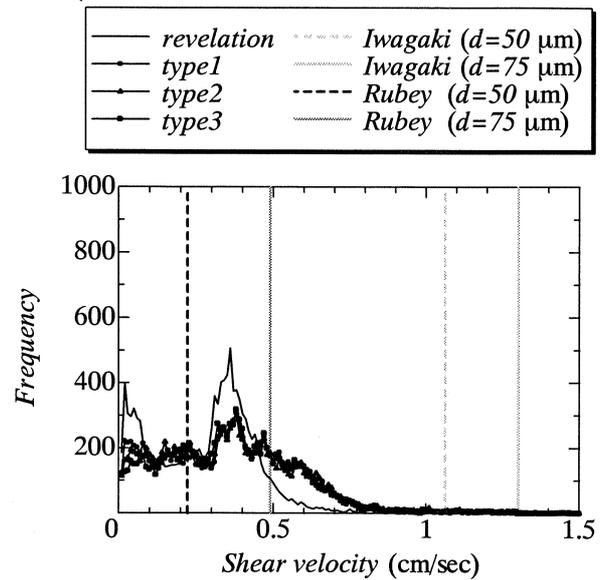


図-17 34200s時の移動限界摩擦速度の頻度分布（Type-1）

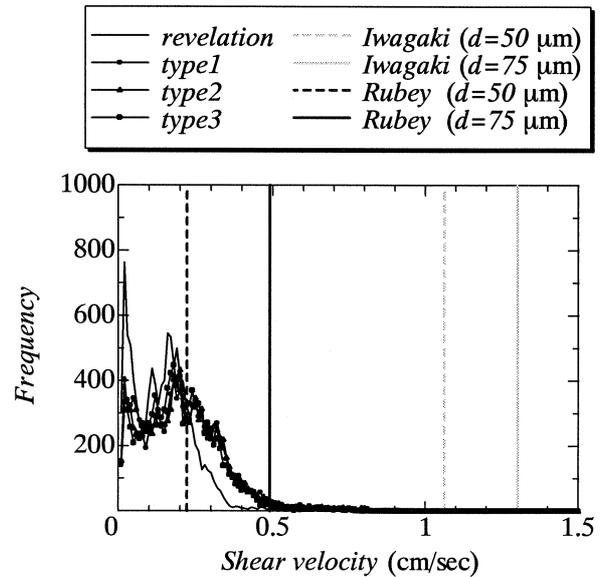


図-18 36000s時の移動限界摩擦速度の頻度分布（Type-2）

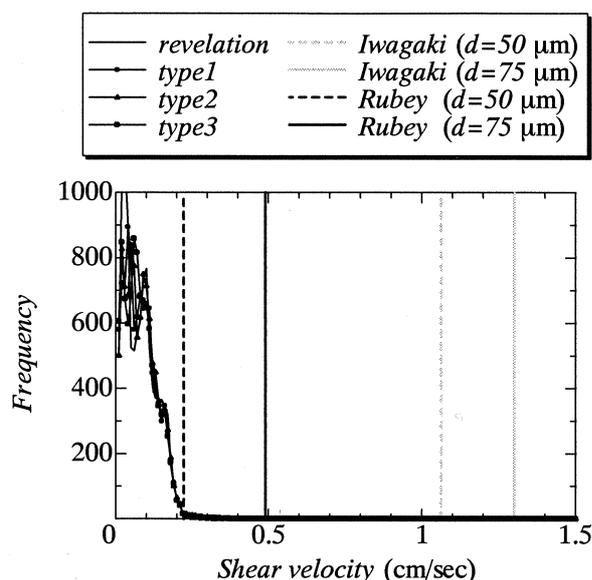


図-19 37800s時の移動限界摩擦速度の頻度分布 (Type-3)

5. まとめ

本研究では、作濤工事によって港内の富栄養化した水塊や腐泥の排出を試みる場合の評価方法について提案した。

作濤工事方法を3種類提案し潮汐を外力とした流況シミュレーションを行って流況の変化を予測した。計算された流速により各計算要素での摩擦速度を算定し、計算領域内で移動限界摩擦速度を上回る要素(領域)について作濤工事3種類の評価を行った。移動限界摩擦速度の算定には、岩垣の式とRubeyの式により2種類の粒径に対して移動限界摩擦速度を算定したが検討の結果、Rubeyの式を用いた方が本研究では有用であると考えられる。

本研究では、移動限界摩擦速度に着目して3種類の作濤工法を評価しようと試みたが優位な差を明確に示すこ

とができなかった。しかしながら、作濤を行うことで問題となる水塊や腐泥の排出の効果が干潮時の数時間前に限って作濤を行った場合には干潟の底泥(75 μ m)の排出効果が期待できる。

実際に3種類の作濤工法から1つを選ぶのであれば、排出機能という点からはどの作濤工事も違いはないと考えられ、経済面や作濤した際に発生する土砂排出量を十分考えて工事方法を選出するべきであると考えられる。

謝辞：この報告は、三重県が行った「平成17年度三重保全地区伊勢湾二期工区漁場環境保全創造事業干潟造成計画・調査委託業務」を基にまとめたものである。本報告にあたり、県関係者の方々にご多大なご協力を頂き、厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Rubey, W. W.: Settling velocities of gravels, sand and silt particles, American J. of Science, Vol. 25, pp.325-338, 1933.
- 2) 岩垣雄一：限界掃流力に関する基礎的研究, (1)限界掃流力の力学的研究, 土木学会論文集, 第41号, 土木学会, pp.1-21, 1956.
- 3) Nakata, K., Horiguchi, F., Taguchi, K. and Setoguchi, Y.: Three dimensional tidal current simulation in Oppa Bay, Bull. Natl. Res. Inst. Pollut. Resour, 12(3), pp17-36. 1983.
- 4) Nakata, K., Taguchi, K., and Setoguchi, Y.: Three dimensional eco-hydrodynamic model for eutrophication process in the coastal bay," Proc. Int. Conference of Modeling and Simulation, pp55-59. 1985.
- 5) Taguchi, K. and Terasawa, T.: A numerical model of the turbulent mixing process in the estuary, Proc. Of the 3rd Int. Symp. on Refined Flow Modeling and Turbulence Measurements, Int. Assoc. Hydrodynamic Research, Tokyo, pp337-343. 1988.
- 6) 三重県：平成17年度三重保全地区伊勢湾二期工区漁場環境保全創造事業干潟造成計画・調査委託業務, 2006.