

瀬戸内海水島港での浚渫工事に伴う 懸濁粒子(SS)発生源モデルの提案

A LOADING MODEL FOR SUSPENDED SOLIDS ASSOCIATED WITH
DREDGING WORKS AROUND MIZUSHIMA PORT IN THE SETO INLAND SEA

高尾敏幸¹・古泉統義²・柴木秀之³・山下義昭⁴・田中丈裕⁵

Toshiyuki TAKAO, Tsuneyoshi KOIZUMI, Hidenori SHIBAKI

Yoshiaki YAMASHITA and Takehiro TANAKA

¹正会員 工修 株式会社 エコー 環境・計画部 (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

²工修 株式会社 エコー 環境・計画部 (同上)

³正会員 工博 株式会社 エコー 防災・水工部 (同上)

⁴岡山県 土木部港湾課 (〒700-8570 岡山市内山下2-4-6)

⁵農修 岡山県 農林水産部水産課 (同上)

To forecast a highly qualitative SS (suspended solids) diffusive simulation of dredging with a closed type grab at Mizushima Port in the Seto Inland Sea, the vertical distribution of SS loading at the construction site, the reduction by a silt protector, and the actual quantity of SS loading were remodeled with field data.

First, the vertical SS loading model was developed, based on the idea that SS are mainly generated approximately 5m from the bottom layer and using the vertical turbidity data measured near the dredging point. Next, a SS reduction model due to the silt protector, which decreased SS by 30% in the area between surface and depth of protector + 1m, was modeled based on vertical turbidity distribution near the silt protector. These models were then verified with a 3D numerical model, which indicated that the preciseness of the simulated SS distribution during dredging was more accurate than the currently used model.

Lastly, the quantity of SS generation was considered to depend on the falling velocity of the grab and the depth at the construction site, as well as factors such as diameter of sediment, velocity, and dredging quantity per unit time, among others written in the manual.

Key Words : *Suspended solids, loading model, dredging, the Seto Inland Sea*

1. はじめに

浚渫工事の際に発生する懸濁粒子(SS)は、短時間に周辺の水質ならびに光環境を変化させ、漁場環境への影響が少なからず懸念される。このため、浚渫工事を行う際には、通常事前に発生するSSが周辺海域へ与える影響を評価し、汚濁防止膜の使用や濁りの発生の少ない工法の選択といった汚濁防止対策をとった上で実施される。

この時のSSの予測評価は、国土交通省港湾局が発行している濁り影響予測の手引き（以下手引きと記す）¹⁾に従って工法・使用船舶・取扱い土砂毎にまとめられた濁り発生原単位・濁り発生源モデル（濁り発生の鉛直分布）を設定して実施される。こ

のため、現場の特性に見合った濁りの発生条件というよりは既往値に従った濁りの発生条件となり、現地特性が反映され難い傾向がある。

密閉グラブ浚渫での浚渫時に発生する濁りの量について、小岩ら²⁾は、1回当たりのつかみ土量と巻上げスピードの積をパラメータとして評価している。

また、松田ら³⁾は、巻下げ・着底・掘削・地切り・巻上げ・旋回・土捨てといった浚渫サイクルと汚濁発生要因を考え、現地実験により密閉グラブ浚渫ではグラブバケットの着底時に最も多く濁りが発生する点を指摘している。この着底時に発生する濁りは、バケットの落下速度とバケット近傍で発生する流れが強く関係していることを指摘している。

柴木ら⁴⁾は、3次元数値シミュレーションを基本とした工事中の濁り拡散予測システムを水島港へ適

用した事例を紹介している。

本調査では、瀬戸内海水島港の密閉グラブ浚渫による濁りの拡散を対象とした。水島港での密閉グラブ浚渫時の濁りの拡散状況は、高尾ら⁵⁾の現地観測結果から、主に中層から下層にかけて高濃度に広がっている。また、濁りの発生原単位も通常と比べて大きい傾向にあることを示している。

本調査の目的は、柴木ら⁴⁾が水島港を対象に開発した3次元濁り拡散予測において、より現場海域に適した濁りの拡散予測が可能となるように、現地データに基づいた濁り発生条件のモデル化の提案を行うことである。

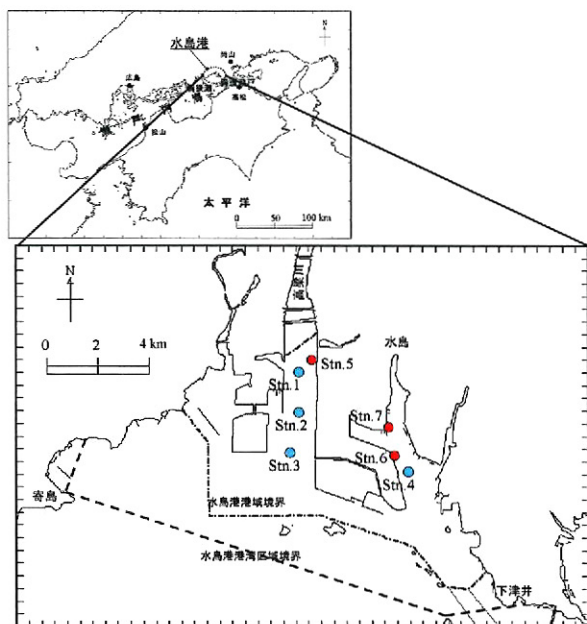


図-1 観測地点図

2. 基礎データ

解析に用いた基礎データは、濁り発生原単位、施工条件、底質および流況である。

(1) 濁り発生原単位

図-1に示す高梁川河口部のStn.5および水島港内のStn.6で得られている発生原単位と手引きに記載されている同種の工事による濁り発生原単位を表-1に示す。

手引きの数値は、データが古く、施工場所や単位時間あたりの施工量が不明であるため、参考値としての比較に留めるものとする。

高梁川河口部と水島港の発生原単位は、高尾ら⁵⁾で示した原単位調査の結果をもとにした。ただし、水島港での発生原単位は、高尾ら⁵⁾では汚濁防止柵による濁りの除去率を無視していたが、今回は以下の手法により考慮した結果を示す。図-2に示した水島港の工事近傍で得られた換算SSの鉛直分布をも

とに、水深0m～3mにかけて濃度が低い点をカーテン長4mの汚濁防止柵（フロート付の方形柵で、柵には汚濁防止膜が設置されており、工事船に接続して使用される。）による効果と考えた。汚濁防止柵が無かった場合、水深4m以浅の濃度は水深4mの濃度と同じになると仮定して、式(1)により濁りの除去率を算出した。その結果水深全体に対して3.8%の除去率が得られる。表-1に示した水島港の発生原単位は、高梁川河口部と同様にこの汚濁防止柵による効果を考慮して求めた値である。

$$\varepsilon = (1 - \frac{S_s}{S_o}) \times 100 \quad (1)$$

ここで、 ε ：除去率（%）、 S_o ：汚濁防止柵を設置しない場合のSS、 S_s ：汚濁防止柵を設置した場合のSS、をそれぞれ示す。

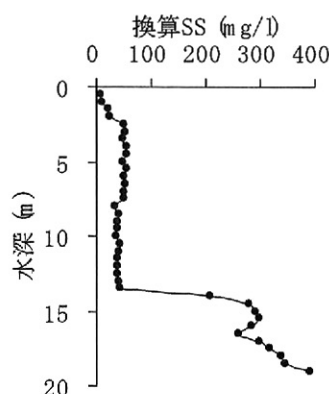


図-2 水島港の工事近傍で得られた換算SSの鉛直分布

表-1 濁り発生原単位（密閉グラブ浚渫船）

地点	グラブ サイズ	取扱土砂 シルト・粘 土分の割合 R_0 (%)	発生 原単位 w_0 (kg/m ³)	参考 単位時間あ たりの施工 量 (m ³ /h)
高梁川 河口部	30m ³	85.0	6.53	400
水島港	27m ³	89.3	18.3	367
手引き	8m ³	80.0	3.50	-

(2) 施工条件

図-1に示す高梁川河口部のStn.5、水島港内のStn.6のそれぞれの濁り発生原単位調査における施工条件を表-2にまとめる。

いずれも密閉グラブ浚渫船による浚渫工事であった。また、カーテン長4mの汚濁防止柵が使用されていた。

表-2 原単位調査の施工条件

地点	工種	グラブ サイズ (m ³)	取扱い 土量 (m ³ /h)	施工箇 所の水 深 (m)	汚濁防 止柵
高梁川 河口部	密閉グラ ブ浚渫船	30	400	19	有り (4m)
水島港	密閉グラ ブ浚渫船	27	367	7	有り (4m)

(3) 底質

図-1に示すStn.1～Stn.6における底質の粒径加積曲線を高梁川河口部・水島港別に図-3に示す。Stn.1～Stn.4は、高尾ら⁶⁾で示したグラブ採泥器により採取した表層泥である。Stn.5およびStn.6は、浚渫箇所の底質であり、浚渫後の土砂を運搬するバージ船上で採取した試料をもとにしている。

図中には、シルトと粘土の境である0.005mmおよび細砂とシルトの境である0.075mmに実線を描画した。シルトである0.005mm～0.075mmに着目すると、高梁川河口部は下に凸の形状をしており、径の粗い成分が多いことがわかる。一方で、水島港は上に凸の形状をしており、径の細かい成分が多いことがわかる。Stn.5およびStn.6は、バージ船上に積まれた土砂であり、正確には表層泥では無いため、これらの地点を除くと、上記の傾向はより明瞭となる。

(4) 流況

原単位調査実施日の水島における潮位を図-4に示す。いずれの観測も満潮時前から満潮時にかけての時間帯であった。現地でも得られた観測時間帯の下層（海底上1m）の平均流速は、高梁川河口部が9.7 cm/s、水島港が5.4 cm/sであった。

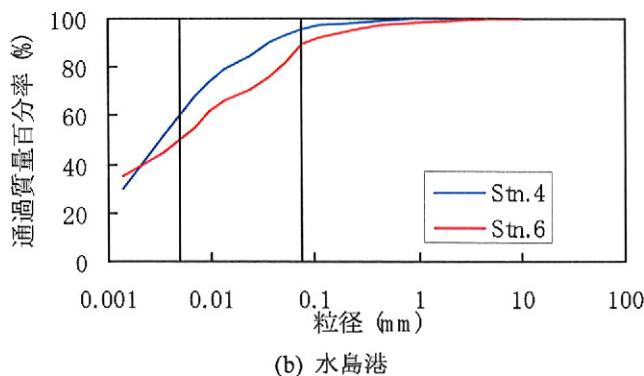
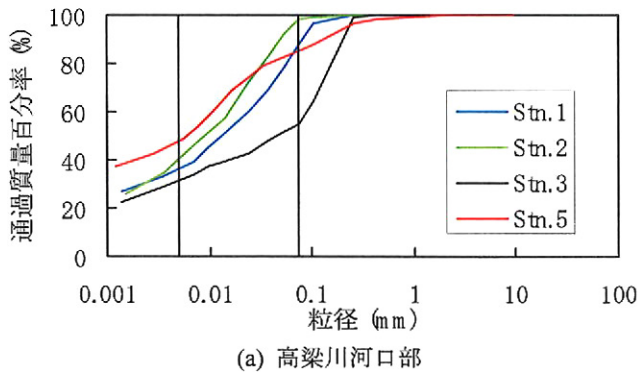


図-3 底質の粒径加積曲線

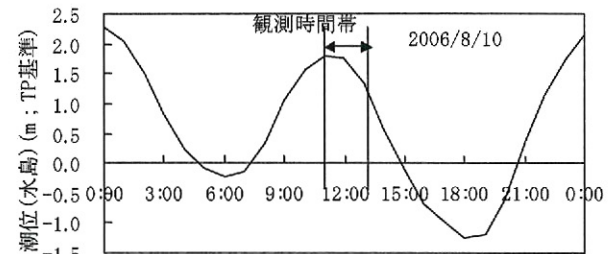
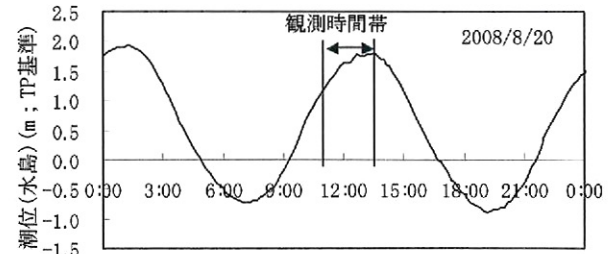


図-4 原単位調査実施日の潮位

3. 解析

(1) 濁り発生状況

図-5は、Stn.6とその周辺で2006年8月に観測された施工箇所近傍における換算SSの鉛直分布を図示したものである。底層で高い濁りが観測されており、特に海底上の約5mでこの傾向が顕著である。このことから、濁りは主に底層で発生していることが窺われる。また、上層から中層にかけても100mg/l程度の換算SSが得られており、底層ほどではないものの、濁りの発生が確認される。

図-6は、高尾ら⁵⁾によるStn.7周辺で2008年9月2日に観測された工事前と工事中の施工箇所を中心とした濁りの縦断面図を描画したものである。工事中は、中層以深を主に濁りが拡散している様子がわかる。

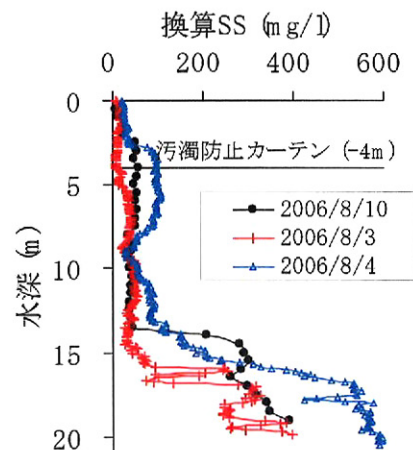


図-5 施工箇所近傍で得られた換算SSの鉛直分布

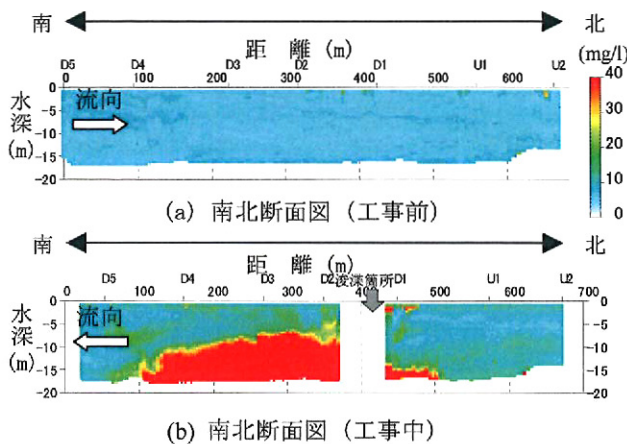


図-6 施工箇所近傍で得られた換算SSの南北縦断面分布

(2) 汚濁防止柵による濁りの除去率

図-7は、Stn.5における流下方向の汚濁防止柵近傍で得られた換算SSの鉛直分布である。濁りは水深約5mまで低く、カーテン下端部より約1m深い水深まで汚濁防止柵の効果が及んでいたと推察される。

そこで、汚濁防止柵が無かった場合、水深5m以下の濃度は水深5mの濃度と同じになると仮定して、式(1)により海面から水深5mまでの汚濁防止柵の除去率を算出すると、74.5%が得られる。

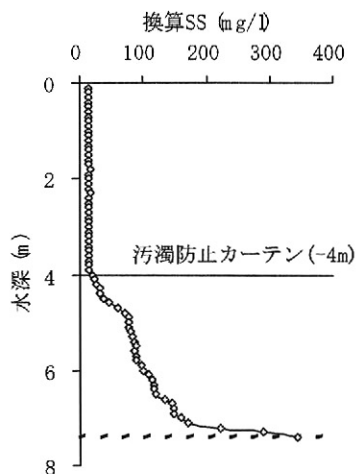


図-7 汚濁防止柵近傍で得られた換算SSの鉛直分布

4. 考察

(1) 濁り発生量の影響要因

表-1に示したように、水島港の発生原単位は、高梁川河口部のそれと比べて約3倍の値であり、通常よりも多いと考えられる。そこで、この要因について想定される項目、その効果、考察結果を表-3にまとめる。

底質の性状については濁り発生量の主要素と考えられる。粒度組成は、図-3に示したように水島港

の方が高梁川河口部よりも粒径が小さい傾向がみられた。しかしながら、発生原単位を算出する際に、現地流速に従う底質の汚濁限界粒子径を算出し、これに対する粒径加積百分率を考慮している。このため、底質の粒度組成の違いから発生原単位の差を新たに説明することは難しい。

バケットの落下速度は、松田ら³⁾により、速度が速いほど下層の濁りは増大することが示されている。本調査で対象とした高梁川河口部と水島港について、具体的な両者のグラフ落下速度は得られていない。そこで表-2に示した施工条件を両者で比べると、単位時間あたりの取扱い土量およびグラフサイズに大きな違いはみられない。一方で、水深は、高梁川河口部が7mに対し水島港は19mであった。この点を踏まえると、水島港の施工の方がグラフの落下速度は速かった可能性が高い。この点が発生原単位への違いとして表れた可能性がある。

図-5に示したように、底層ほどではないものの上層から中層にかけても濁りの拡散が確認された。これは、バケット巻上げ時にバケットに付着した泥の拡散によるものと推察される。水深が深いほど、バケットの巻上げ距離も長くなるため、バケット巻上げ時に発生する濁りの量は多くなると予想される。

原単位調査実施時の下層の平均流速は、いずれも10cm/s未満であった。また、高梁川河口部の方が水島港よりも強かったことから、流況は発生原単位の差に対する直接的な要因でなかったと推測される。

表-3 濁り発生量を左右すると想定される要因とその効果

項目	一般に想定される効果	考察結果
底質の性状	浚渫時に下層で発生する主な濁りは、グラフ着底から掘削、地切り、グラフの巻上げにいたる過程であり、主な濁りは、海底表面の底質であると想定される。底質が細かいほど、上記の過程で生じる濁りの発生量は多くなると想定される。	汚濁限界粒子径に対する粒径加積百分率を考慮している。
バケットの落下速度	バケットの落下速度が速いほど、着底時の濁りの発生量は多い(松田ら ³⁾)。	水島港の方が、速かった可能性が高く、要因となっていた可能性がある。
水深	水深が深いほど、バケットの巻上げ距離も長くなる。このためバケットの巻上げ時の濁りの発生量は多くなると想定される。	水島港の方が高梁川河口部よりも約3倍深い。このため、要因となっていた可能性が高い。
流況	潮流が強いほど、濁り拡散の外力も強くなるため、濁りの発生量は多いと想定される。	調査時の流速は、高梁川河口部の方が強かったため、直接的な要因とは考えられない。

(2) 濁り発生源モデルの提案

図-5に示したように、密閉グラブ浚渫船による浚渫工事の場合、主に底層から濁りが発生している。このため、手引きりでは濁りの発生箇所は、海底と記されている。

本調査では、表層から中層にかけても底層ほどではないが濁りの拡散が確認されたため、この点を考慮して図-8に示すような濁りの発生源モデルを設定することで、より現場に近い条件が設定できると考えた。

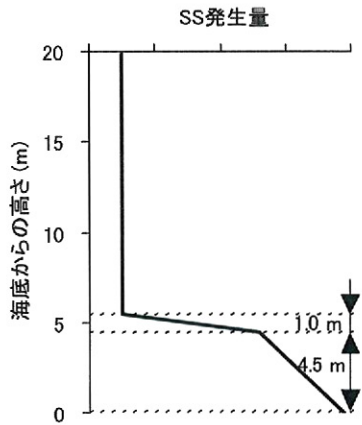


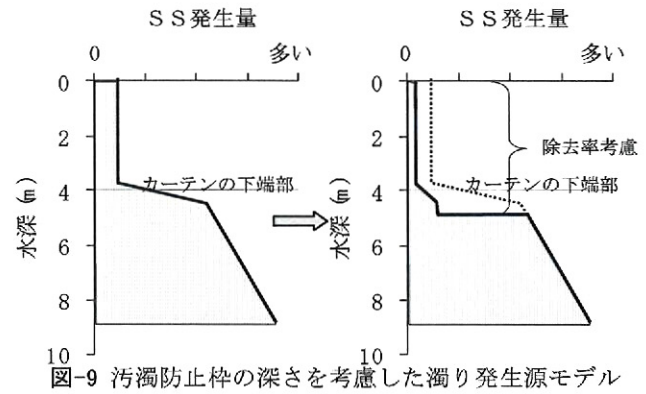
図-8 提案した濁り発生源モデル

(3) 汚濁防止柵の深さを考慮した濁り発生源のモデル化

汚濁防止柵による濁りの抑制効果については、具体的な効果が不明なため、既往調査の結果を踏まえて濁りの発生量を1/2に抑えるといった設定をすることがある。また、地形条件として汚濁防止膜を設定してシミュレーションを実施することがある。

本調査で対象とした汚濁防止柵のスケールは1辺が約10mの方形柵であり、シミュレーションの地形条件として表現するには狭い。そこで、濁り発生源モデルにおいて濁り発生量に汚濁防止柵による濁りの除去の効果を考える方が妥当と考えた。

前述した汚濁防止柵による濁りの除去率の算出結果を踏まえ、汚濁防止柵による濁りの抑制効果を海面から汚濁防止柵の下端+1mの深さまで及ぶと仮定した。また、除去率は、観測精度を踏まえ1桁目を切り捨て、70%と仮定した。すなわち、図-9に示すように、海面から汚濁防止柵の下端+1mの深さにかけて除去率70%を濁りの発生量から除去するモデルを考えた。左は濁りの除去率を考慮する前の濁り発生源モデルであり、右は濁りの除去率を考慮した後の濁り発生源モデルである。これにより、例えば水島港のように汚濁防止柵が及ばないような水深の大きい場所における浚渫工事の場合にも、より現場に近い条件が設定できるものと考えた。



(4) シミュレーションによる濁り発生源モデルの検証

図-8および図-9に示した濁り発生源モデルの効果を把握するため、シミュレーションによる検証を行った。流況の予測モデルは、水島港を対象とした白木ら⁷⁾による鉛直20層シグマ座標による流況予測モデルを用いた。

図-10は、図-6で示した施工地点を挟む南北縦断面でのSS観測値と従来の底層を発生源とするモデルでの計算結果と今回提案した濁り発生源モデルでの計算結果を示す。

また、図-12には、図-11に示す計算メッシュでの観測値SSと計算値SSの鉛直分布の比較を行った結果を示す。浚渫箇所のSSは、時空間的な変動が大きいため、観測値と計算値の比較は、流下方向に約100~300m離れた地点で行った。

従来の底層を発生源とするモデルでは、濁りが底層に偏る傾向が強い。それに対し、今回提案した濁り発生源モデルでは、比較的中層まで濁りが広がっている様子が再現できており、その鉛直分布もより再現性の高い結果が得られている。

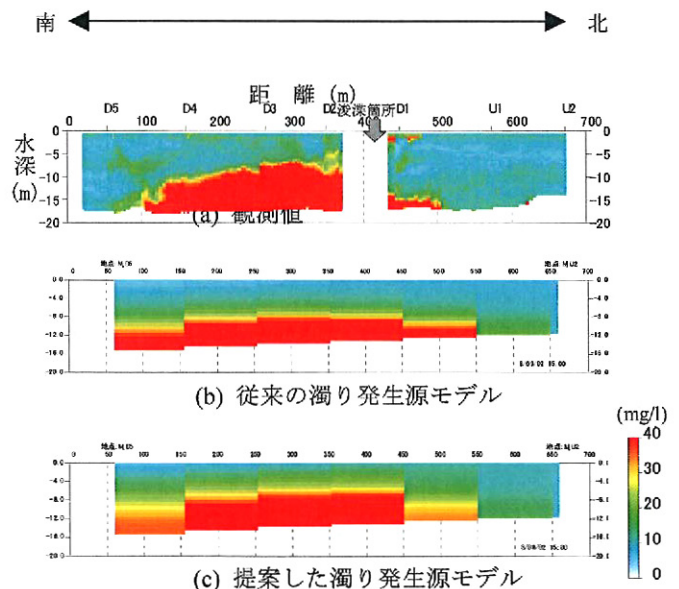


図-10 南北縦断面による濁りの観測値と計算値の比較

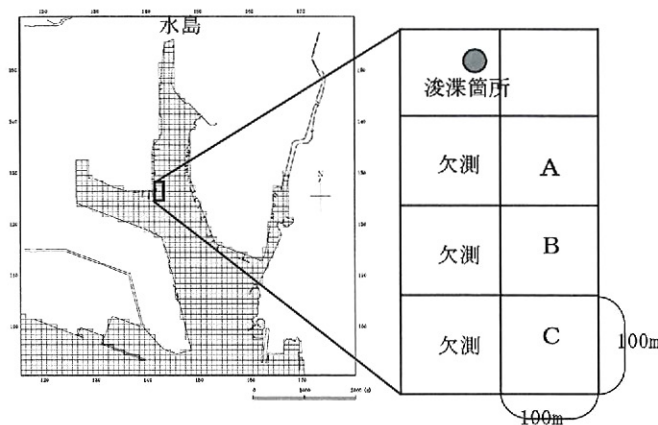


図-11 濁りの鉛直分布の観測値と計算値の比較地点

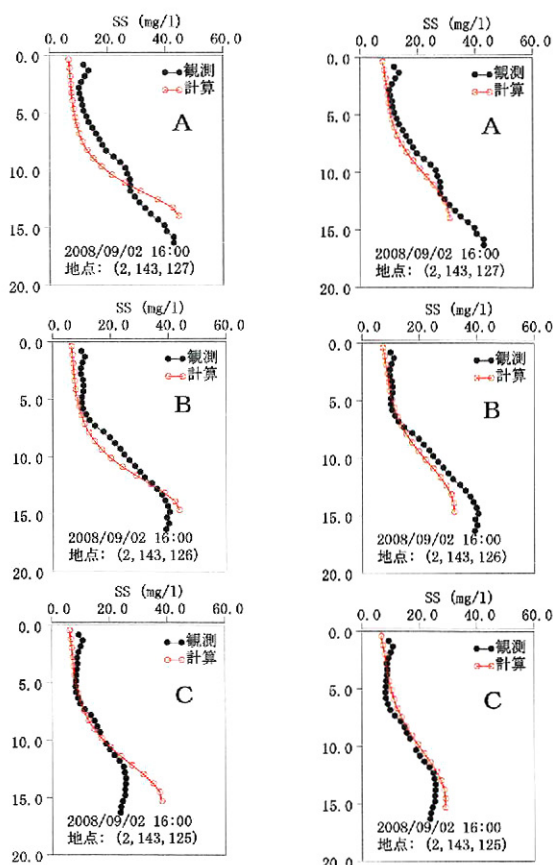


図-12 濁りの鉛直分布の観測値と計算値の比較

5. おわりに

本調査による主要な結論をまとめる。

- ・水島港の密閉グラブ浚渫を対象に下層の約5mに重みをおいた鉛直的な濁り発生源モデルを提案した。
- ・汚濁防止枠に取り付けられるカーテン長+1mの水深まで一律70%の除去率を考慮するモデルを仮定することで、汚濁防止枠の深さを考慮した濁りの発生源モデルを提案した。
- ・上記の濁り発生源モデルを用い、3次元多層シグマ座標モデルによるシミュレーションを実施し、

従来の底層から濁りが発生する条件との比較を行った。その結果、本調査で提案した濁り発生源モデルを用いることで、より精度の高い濁り拡散予測が行われることを確認した。

- ・高梁川河口部の原単位と水島港の原単位とで約3倍の差がみられる点の要因として、手引きりに記載される要因に加えて新たにグラブバケットの落下速度、水深の2つを取りあげた。また、今後の課題として次があげられる。
- ・高梁川河口部と水島港の原単位にみられる約3倍の差の要因として、新たに両地点でのグラブバケットの落下速度と水深の2つを要因としてとりあげた。その2つの要因の定量的な影響度合いについては、実証データに乏しく、明確な評価に至らなかった。水島港での濁り発生原単位モデルを考える場合において今後の課題である。

謝辞：本調査は、水島港の濁り拡散予測モデル開発の一環として行ったものであり、研究の機会を与えて頂き、かつ貴重なご助言を賜りました京都大学名誉教授 奥田節夫博士、九州大学応用力学研究所教授 柳哲雄博士並びに岡山大学環境理工学部教授 大久保賢治博士に深くお礼申し上げます。また、現地データの収集にご協力頂きました岡山県備中県民局水島港湾事務所、岡山県水産試験場の関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：港湾工事における濁り影響予測の手引き，2004。
- 2) 小岩苔生，宮崎昭児，大友健，渋谷洋一，白鳥保夫，河野茂，中園嘉治，高橋英俊，浜田賢二，佐藤義博，松本茂：グラブ浚渫船の運転条件が濁りに及ぼす影響，港湾技研資料，No. 257，p. 29，1977。
- 3) 松田信彦，五明美智男，松原雄平，檜谷治，黒岩正光：密閉グラブ浚渫で発生する濁りの現地実験，海洋開発論文集，Vol. 20，pp. 917-922，2004。
- 4) 柴木秀之，高尾敏幸，白木喜章，山下義昭，田中文裕：現地で運用するための工事中の濁り拡散予測システムの開発，海洋開発論文集，Vol. 25，pp. 999-1004，2009。
- 5) 高尾敏幸，古泉統義，柴木秀之，山下義昭，田中文裕：瀬戸内海水島港での浚渫工事に伴う懸濁粒子(SS)発生量の把握に関する調査，海洋開発論文集，Vol. 25，pp. 1311-1316，2009。
- 6) 高尾敏幸，杉松宏一，柴木秀之，常森通浩，田中文裕：瀬戸内海水島港周辺域の懸濁粒子(SS)の輸送特性，海洋開発論文集，Vol. 23，pp. 1153-1158，2007。
- 7) 白木喜章，高尾敏幸，柴木秀之，山下義昭，田中文裕：岡山県水島港周辺海域における流況・SS分布予測モデルの開発，海洋開発論文集，Vol. 24，pp. 1069-1074，2008。