

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

FIELD STUDY ON SUSPENDED SOLIDS DUE TO DREDGING WORKS AROUND MIZUSHIMA PORT IN 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

³正会員 工博 株式会社 エコー 防災・水工部

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

It is expected that the quantity of suspended solids (SS) produced during dredging works will depend on not only the execution method and grab type but also on the environmental characteristics of the dredging area. However, it is rare that environmental characteristics are considered in modeling SS generation using diffusive simulations.

To develop a more precise forecasting method, field observations of SS due to dredging works were carried out at the harbor end of Mizushima Port and the river mouth of the Takahashi River. The values of SS generation per unit dredging volume were measured as about 17.6 kg/m³ and 6.53 kg/m³ at the harbor end and the river mouth respectively - a difference of around 3 times. These values were 2 to 5 times higher than predicted using the manual on SS diffusivity for similar a dredging type. It is thought that the differences were caused by environmental factors such as the size of bottom sediments and the depth at the construction site.

Key Words : *Suspended solids, field experiment, dredging construction, the Seto Inland Sea*

1. はじめに

海域における懸濁粒子(SS)は、一般的にその濃度が高いほど透明度が低下し、水中の光強度を介して生物環境に及ぼす影響も多大である。このため、浚渫工事などの濁りを発生する海上工事を行う際には、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。

影響を予測する際に用いられる浚渫工事に伴うSSの発生原単位は、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⁾に工法・使用船舶・取扱い土砂毎にまとめられた数値が用いられる。浚渫工事に伴うSSの発生量の算定は、この濁り発生原単位に浚渫箇所の流況・底質粒度組成・単位時間あたりの浚渫量を加味して求める手法が用

いられる。しかしながら、この濁り発生原単位は、海域に応じて異なることが予想される。また、実際に水中の光環境に及ぼす濁りは、自然界での濁り(バックグラウンドの濁り)と工事による濁りを足し合わせたものであり、目に見える濁りもこれと同様である。このため、海域環境を予測評価する上では、バックグラウンドの濁りについても考慮することが重要である。

瀬戸内海水島港周辺海域におけるバックグラウンドのSSの特性については、2007年と2008年の報告²⁾において示した。この中で高梁川河口部や水島港沖側の海域では、卓越する潮流に起因した底泥の再懸濁と堆積を繰り返しており、潮流に応じたSSの変動をしていることを確認した。また、水島港のほぼ中央に流入する高梁川河口部では、河川水の出水時に表層の約1mの層厚で河川水が流出し、これとともに濁水が流出することを確認した。

本調査の目的は、水島港における浚渫工事による濁りの発生量を現地観測より把握し、水島港の浚渫工事における濁りの影響予測において活用すること、濁り発生原単位の現地観測手法の提案を目的としたものである。

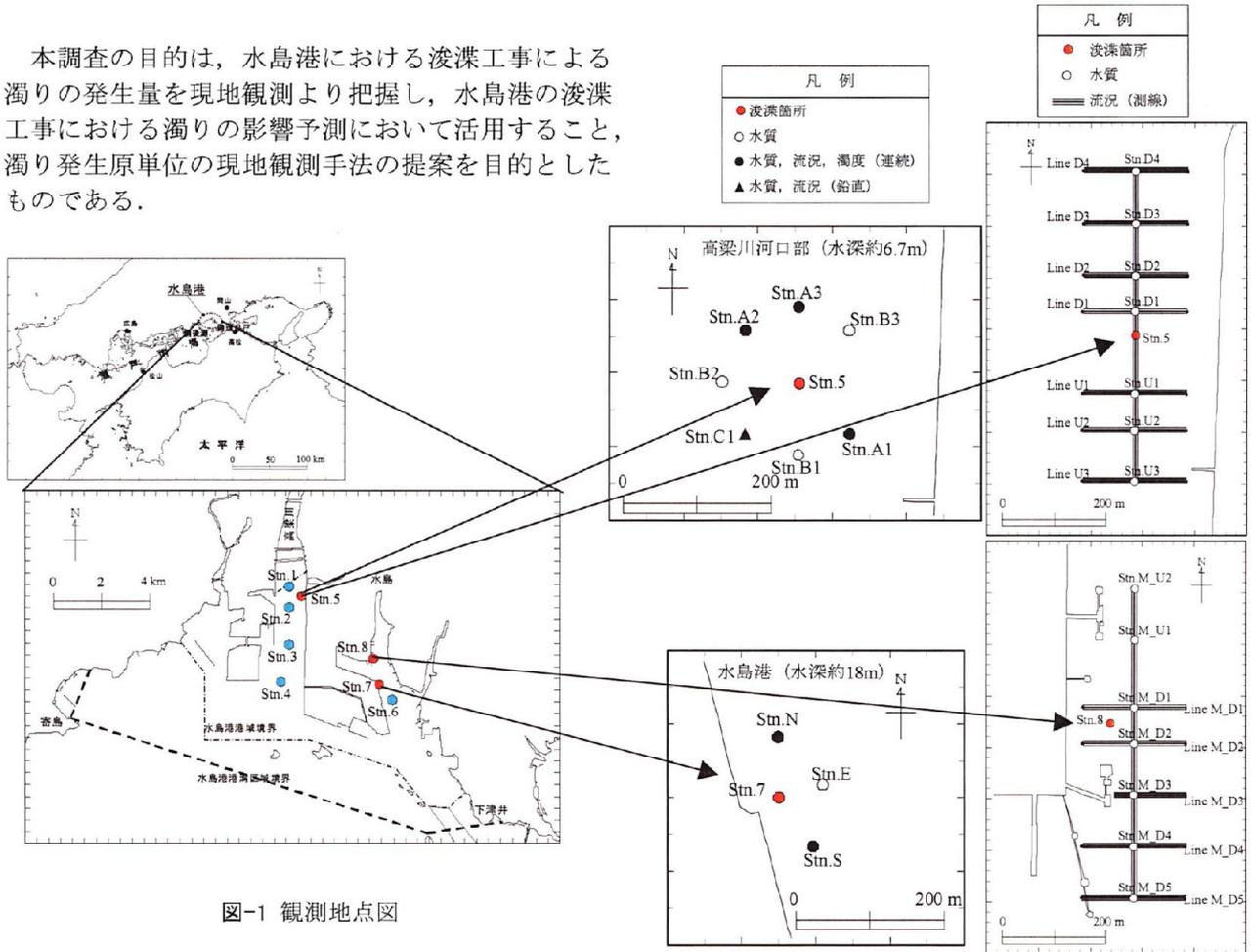


図-1 観測地点図

2. 観測データ

現地観測は、濁り発生原単位を把握する調査と濁りの拡散状況を把握する調査を実施した。

(1) 濁り発生原単位調査

図-1に示す高梁川河口部のStn.5の周辺で2008年8月20日に、水島港内のStn.7の周辺で2006年8月10日にそれぞれ実施した。

観測は、手引き¹⁾を参考に、いずれも浚渫工事実施日に浚渫船を囲むように調査地点を配置した。各調査地点に作業船をアンカーで固定し、工事前、工事開始後10分、20分、30分、40分、60分、120分の7回それぞれの時刻にバンドン採水器を用いて上層（海面下1m）、中層（水深の1/2）、下層（海底上1m）の採水を行い、SS量を分析した。また、SSのフラックスを算出するため、上記と同じ時間・同じ水深において、代表的な地点（高梁川河口部；Stn.A1, Stn.A2, Stn.A3, 水島港；Stn.N, Stn.S）で流況観測を実施した。流況観測は、直読式の電磁流速計（JFEアレック電子社製ACM210-D）を用いて現地測定を行った。高梁川河口部における1地点（Stn.C1）では、音響式流速計（RD社製ワークホース ADCP1200kHz）を船の舷に固定し、第1層を水深0.75mとし、層厚0.25mで流況の鉛直分布を連続的に

に観測した。加えて、本調査では、携帯型濁度計（JFEアレック電子社製Compact CTD）による濁度、水温、塩分の鉛直分布測定を層厚0.1m間隔に全地点で採水と同じ時刻に実施した。

(2) 濁り拡散状況の把握調査

図-1に示す高梁川河口部のStn.5の周辺で2008年8月21日に、水島港内のStn.8の周辺で2008年9月2日にそれぞれ実施した。

いずれの場所も浚渫工事実施日に浚渫船の周辺に調査地点を配置した。調査は、バックグラウンドの濁りの把握を目的とした観測日の浚渫工事実施前の測定と、浚渫工事によって発生する濁りの拡散状況の把握を目的とした浚渫工事中の測定を行った。

音響式流速計（RD社製ワークホース ADCP 1200kHz）を常時船の舷に固定し、第1層を水深約0.8mとし、水島港側で層厚0.5m、高梁川河口側で層厚0.25mの設定で流況の鉛直分布を連続的に観測した。また、携帯型濁度計（JFEアレック電子社製 Compact CTD）による濁度、水温、塩分の鉛直分布の測定を層厚0.1mで実施した。バンドン採水器を用いて上層、中層、下層の採水を行い、SS量を分析した。中層は、いずれも水深の1/2とし、上層と下層は、水深の浅い高梁川河口部では、上層を海面下1m、下層を海底上1mとし、水島港では、上層を

海面下2m, 下層を海底上2mとした。

3. 観測結果

(1) 濁り発生原単位調査

図-2は、濁度から換算したSS（以下換算SS）と採水試料から分析により得られたSSの鉛直分布を比較した結果である。換算SSは、沿岸調査マニュアル⁴⁾を参考に、現地で観測された濁度とSS量から検量線（1次式）を作成し、得られた関係式により濁度から換算した。両者の比較結果から、換算SSとSSはほぼ対応関係にあることがわかる。このことから換算SSは、鉛直方向により密なデータとして活用できることがわかる。図-3は、同じ時にStn.C1において観測された流況の鉛直分布の時系列である。このときの流況は、海面から海底にかけてほぼ同じ流向を示しており、SSと比べると鉛直方向の変化は小さいといえる。

表-1は、採水分析によるSSと換算SSのそれぞれを用いた場合における浚渫工事箇所からのSS発生量の算出結果を示す。

前者は、鉛直方向に3層のSS分析結果に浚渫箇所から離れる方向を正にとった流速と層厚（上層：2m, 中層：水深-4m, 下層：2m）と円弧の幅を掛け合わせ、浚渫箇所から離れる方向のSSフラックスを求めた結果である。後者は、鉛直方向に0.1m間隔にある換算SSを用い、流況は同様に浚渫箇所から離れる方向を正にとった3層の観測結果を換算SSと同じ水深に線形に内挿し、各層で換算SSと流速および円弧の幅を掛け合わせてSSフラックスを求めた結果である。なお、工事によるSSの発生量とするため、SSと濁度の観測結果をもとに設定したバックグラウンドのSSをSS観測値から差し引いて算出を行った。

鉛直方向に密な換算SSを用いた場合のSS発生量は、3層のSS分析結果を用いた場合のSS発生量に対して水島港側で約2倍、高梁川河口側で約0.75倍の量を示した。このような差異を生じる要因として、濁りが鉛直方向に大きな勾配を持つことがあげられる。特に、水深が約18mある水島港においては、採水によるSS量は、上層と中層の値がほぼ同じであるのに対して、換算SSは水深約10m以深から海底にかけて高い濃度を示している。このため、採水による3層のSSは、中層のSSが低いため、鉛直に0.1m間隔の換算SSを用いてSSのフラックスを算出する場合と比べて、過小評価する要因となったと考えられる。

このことから、より正確なSS発生量を算出するには、濁度の鉛直分布データを活用して算出することが有効といえる。

表-1 浚渫箇所からのSS発生量

算出方法	SS発生量 (kg/s)	
	水島港	高梁川河口部
3層のSS分析値から算出	0.90	0.65
鉛直方向に密な換算SSから算出	1.73	0.49

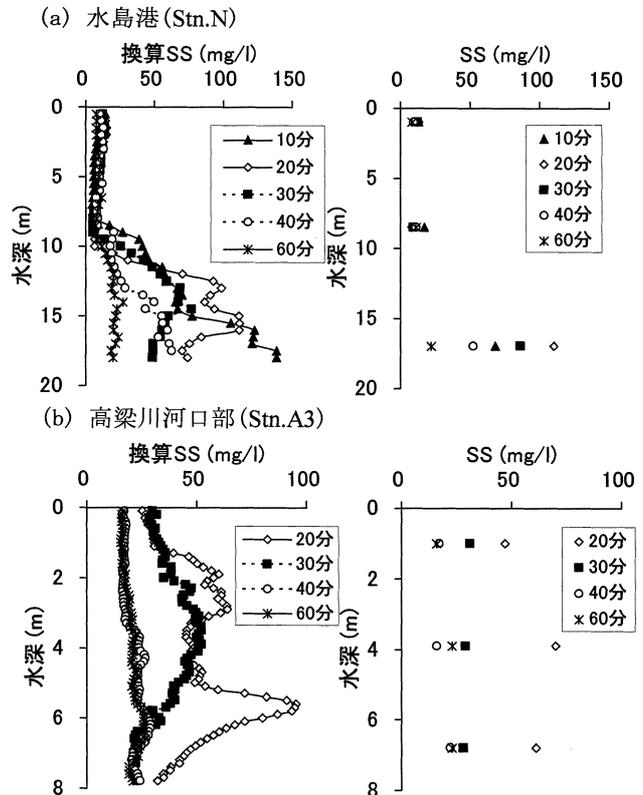


図-2 濁度から換算したSSと採水分析によるSS

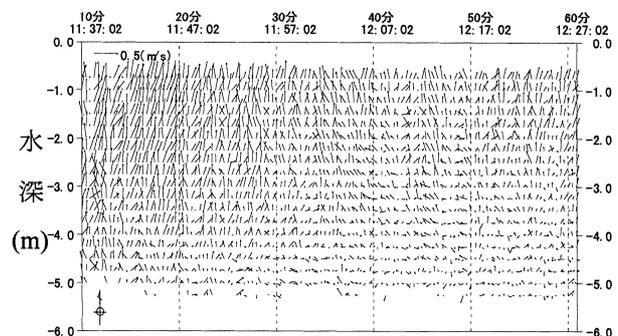


図-3 流況の鉛直分布（高梁川河口部 Stn. C1）

(2) 濁り拡散状況調査

ADCPにより得られる反射強度は、音の拡散損失と吸収損失の補正により後方散乱強度を求めることができる。^{5), 6)}

図-4は、高梁川河口部において8月21日に南北の測点(Stn.D1～Stn.D4, Stn.U1～Stn.U3)で得られたADCPの後方散乱強度と濁度との関係を整理したものである。R²相関は、約0.8であり、後方散乱強度と濁度の間に高い相関が得られた。得られた関係式を用い、後方散乱強度から濁度への推定を行った。また、同じ観測日に得られた濁度とSS量から濁度とSSの検量線(1次式)を作成し、得られた関係式よりSSへの換算を行った。このようにして後方散乱強度より推定されたSSの断面分布を図-6に示す。図は、南北の測線と東西の測線で推定されたSSの断面図である。

観測日の潮位を図-5に示す。工事前は、下げ潮時(北から南の向きの流れ)であったのに対し、工事中は、満潮前の上げ潮時(南から北の向きの流れ)であった。

工事前は、10～30mg/lのSSがみられるのに対し、工事中は、図中矢印で示した浚渫箇所を境に河川上流側で40mg/l以上のSSがみられる。

同様の手法により水島港における9月2日の観測結果についても整理を行った。図-7は、南北の測点(Stn.M_D1～Stn.M_D5, Stn.M_U1, Stn.M_U2)で得られたADCPの後方散乱強度と濁度との関係を整理したものである。R²相関は、約0.8であり、高梁川河口部と同様に後方散乱強度と濁度の間に高い相関が得られた。同じ観測日に得られた濁度とSS量から濁度とSSの検量線(1次式)を作成し、得られた関係式よりSSへの換算を行った。後方散乱強度より推定されたSSの断面分布を図-9に示す。図は、南北の測線と東西の測線で推定されたSSの断面図である。

観測日の潮位を図-8に示す。工事前は、上げ潮時(南から北の向きの流れ)であったのに対し、工事中は、下げ潮時(北から南の向きの流れ)であった。

工事前は、10mg/l未満のSSであったのに対し、工事中は、図中矢印で示した浚渫箇所を境に南側で40mg/l以上のSSが中層から下層で主に拡散している様子が確認できる。

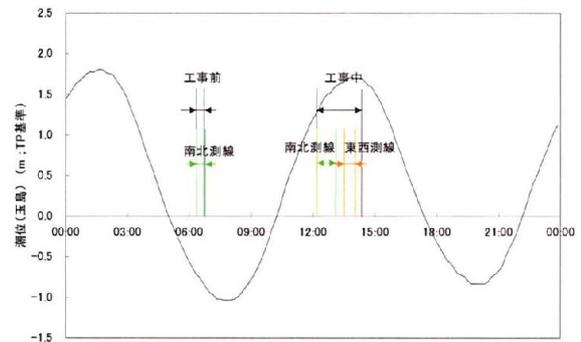


図-5 高梁川河口部観測時の潮位

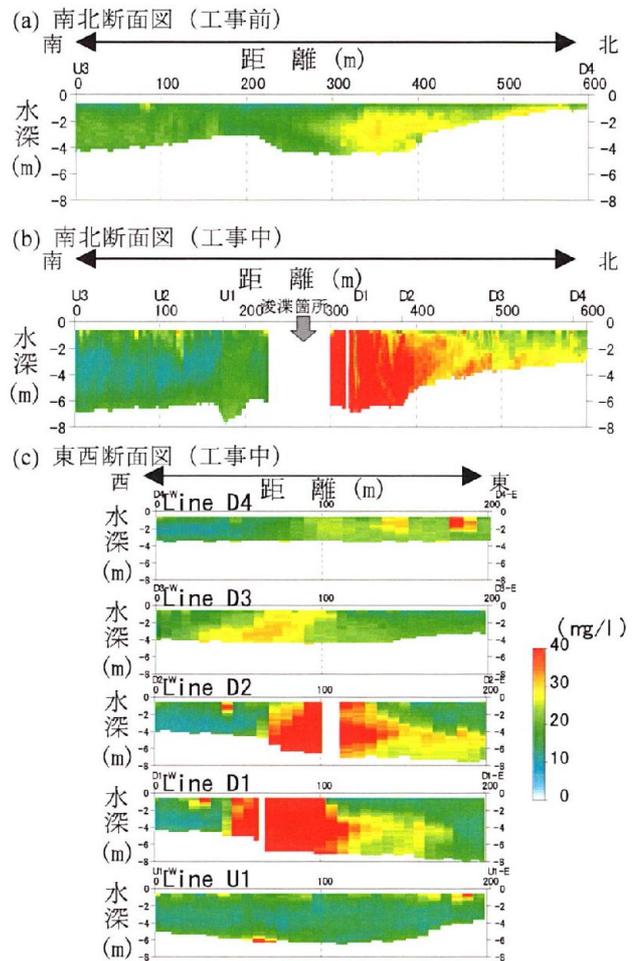


図-6 SSの断面分布(高梁川河口部)

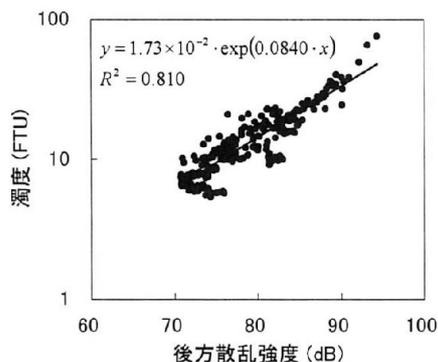


図-4 後方散乱強度と濁度の関係(高梁川河口部)

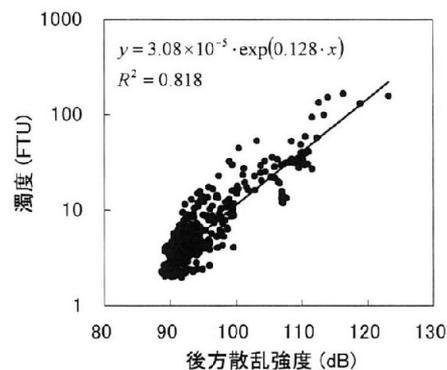


図-7 後方散乱強度と濁度の関係(水島港)

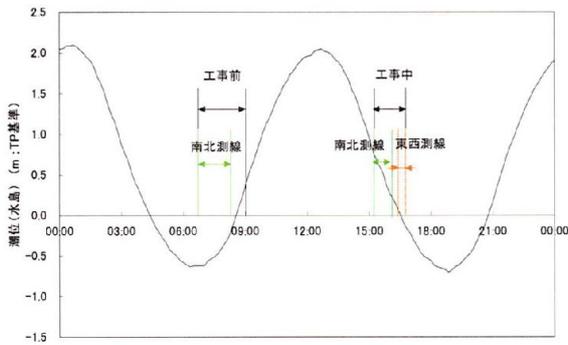


図-8 水島港観測時の潮位

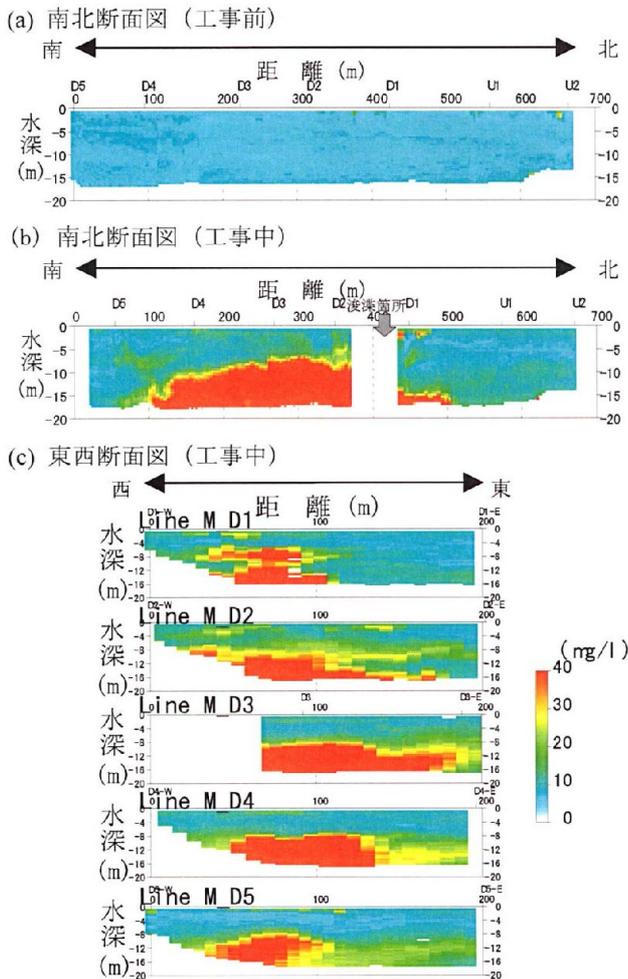


図-9 SSの断面分布 (水島港)

4. 考察

本調査で得られた濁り発生原単位と手引きに記載されている濁り発生原単位との比較を行った。また、本調査で得られた高梁川河口部と水島港の濁り発生原単位の違いについて考察を行なった。

(1) 本調査と手引きの濁り発生原単位の比較

本調査で対象とした浚渫工事は、いずれも汚濁防止柵(浚渫船前面に固定した10×10m程度の鋼製のフロート柵から深さ4mの汚濁防止膜を吊り下げた

もの)が使用された工法であった。そこで、手引きに記載されている原単位と比較するため、汚濁防止柵による除去率を考慮した濁り発生原単位を整理する必要がある。

図-10は、汚濁防止柵近傍で測定した濁度をもとに作成した換算SSの鉛直分布である。高梁川河口部は、汚濁防止柵の内側と外側で得られた結果をもとに汚濁防止柵による除去率を算出した結果、38.2%となった。水島港は、汚濁防止柵の内側での濁度の観測値が得られていないため、汚濁防止柵外側での観測値を示す。水深0m~3mにかけてのSSは水深5m~10mにかけてのSSと比べて低い傾向がみられ、汚濁防止柵による濁りの除去の効果と考えられるものの、14mよりも深い水深で水深5m~10mのSSをはるかに超える100mg/l以上の高い濁りが測定されているため、ここでは、過小評価ではあるが汚濁防止柵による濁りの除去率をゼロと仮定することとした。この結果得られる濁り発生原単位を手引きの同類の工種とあわせて表-2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、あくまで参考値としての比較とする。今回得られた原単位は、手引きに記載されている原単位と比べると高梁川河口部で約1.9倍、水島港で約5.0倍の数値であり、手引きに記載される原単位と比べると大きい数値であった。この要因として、例えば底質の違いが想定される。表-2には、シルト分と粘土分の占める割合についても示す。手引きは、80.0%であるのに対し、高梁川河口部は85.0%、水島港は89.3%であった。

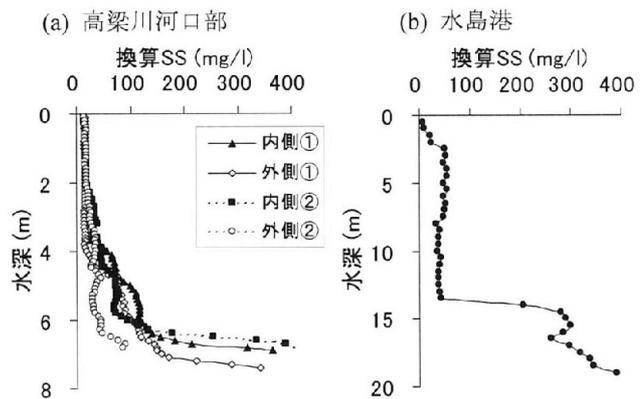


図-10 汚濁防止柵近傍でのSS分布

表-2 濁り発生原単位の算出結果 (密閉グラブ浚渫船)

地点	グラブサイズ	取扱土砂	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)
		シルト・粘土分の割合 R_0 (%)		
手引き	8m ³	80.0	3.50	-
高梁川河口部	30m ³	85.0	6.53	400
水島港	27m ³	89.3	17.6	367

図-6および図-9に示した濁り拡散状況調査の結果を空間分布となるように内挿し、観測エリア内に含まれるSS量を推計した。その結果、高梁川河口部で約12.6トンであった。工事中のSSの平均濃度は約21mg/lであり、工事によらないバックグラウンドのSS濃度を工事前のSS平均濃度（約20mg/l）と工事中のSS濃度の最小値（約10mg/l）の間と仮定すると、工事によるSSの存在量は0.6トン～6.6トンの間にあると推測される。

同様に水島港では、工事中の観測エリア内のSS存在量は約12.8トンであった。工事中のSSの平均濃度は約14mg/lであり、バックグラウンドのSS濃度を工事前のSS平均濃度（約4.5mg/l）と工事中のSS濃度の最小値（約4mg/l）の間と仮定すると、工事によるSSの存在量は8トン～9トンの間にあると推測される。

得られた濁り発生原単位を用いてそれぞれの観測日における濁り発生量を算出した結果、高梁川河口部で実績をもとに施工速度210m³/h、約4.5時間の稼働を仮定すると3.8トンと推計される。水島港で同様に施工量200m³/h、約6.5時間の稼働を仮定すると22.9トンと推計される。これらの数値は、上記に記した工事によるSSの存在量の範囲内もしくはそれよりも多い。実際には、観測範囲外に流出するSSも相当量含まれると考えられる。この点を踏まえると、高梁川河口部の濁り発生原単位から推計されるSS量は、過小ともとれるが、高梁川河口部のバックグラウンドのSSは時空間変動が大きいいため、正確な値が不明である。以上の点を考慮すると、得られた濁り発生原単位の結果は、おおむね妥当な数値といえる。

(2) 高梁川河口部と水島港の原単位の比較

表-2に示したように、水島港で得られた濁り発生原単位は、高梁川河口部のそれと比べるとおよそ2.7倍であった。

図-1に示した高梁川河口部のStn.1～Stn.5の5地点の底質を平均すると、シルト分36%、粘土分32%であった。一方、水島港のStn.6とStn.7の2地点の底質を平均すると、シルト分37%、粘土分56%であった。このことから、水島港の方がより微細な底質が多く含まれているといえる。このことが両者の濁り発生原単位に表れた差の要因のひとつと考えられる。

また、図-10に示したように、濁りの主な発生水深は汚濁防止柵（水深4m）よりも深い層であるため、高梁川河口部では水深6m～7mが主な層であるのに対し、水島港では水深14m～20mが主な層であった。このように濁りを発生する層が水島港の方が厚いことも差の要因のひとつとなっている可能性がある。

5. おわりに

本調査による主要な結論をまとめる。

- ・高梁川河口部と水島港において現地観測結果をもとに浚渫工事による濁り発生原単位を算出し、手引きに記載されている同類の工種の原単位と比較を行った。
- ・海上工事における濁り発生原単位は、現場測定による濁度の鉛直分布を活用することで、より正確な値を得ることが可能となるといえる。

また、今後の課題として次があげられる。

- ・本調査によって得られた濁り発生原単位は、ほぼ同じ施工機械による工法であったにもかかわらず、高梁川河口部で得られた値と水島港で得られた値に約3倍の差がみられた。両者の間で底質の粘土分の割合が異なることや、両者の間で水深が大きく異なっていた点が要因の可能性があげられるが、正確な要因の解明については、今後の課題である。

謝辞：本研究は、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) 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.
- 3) 高尾敏幸・白木喜章・柴木秀之・山下義昭・田中文裕：瀬戸内海水島港周辺海域における懸濁粒子(SS)の巻き上げ・沈降特性の解析, 海洋開発論文集, Vol.24, pp.1075-1080, 2008.
- 4) 日本海洋学会編：3.6濁度, 沿岸海洋調査マニュアルII[水質・微生物篇], pp.61-66, 1990.
- 5) RD Instruments : Acoustic Doppler current profilers, *Principles of operation - A practical primer*. RD Instruments, San Diego, California, 36pp, 1989.
- 6) Kaneko, A., X. H. Zhu and M. H. Radenac : Diurnal variability and its quantification of subsurface sound scatters in the western equatorial pacific, *J. Phys. Oceanogr.*, Vol.52, pp.655-674, 1996.