

沿岸域の底泥輸送シミュレーションにおける 巻き上げに関するモデルパラメータ測定装置の開発

九州大学 学生会員 ○安部哲平 九州大学大学院 学生会員 井手貴仁
九州大学大学院 フェロー 矢野真一郎 環境省国立水俣病総合研究センター 松山明人

1. 目的

沿岸域において、水銀などの底泥に付着する有害物質による健康被害のリスクマネジメントを行うためには、底泥の輸送構造を把握する必要がある。例えば松野下(2018)らは、底泥中の水銀の輸送を把握するために沿岸域三次元流動モデルである Delft3D を用いて水俣湾から八代海への底泥輸送シミュレーションを行った。底泥輸送の数値計算を行う上で、重要な物理過程が底泥の再懸濁であるが、一般的に式(1)で表される。

$$E = M \left(\frac{\tau_b}{\tau_{cr}} - 1 \right) \quad (1)$$

ここで、 E : 浸食フラックス、 M : 浸食パラメータ、 τ_b : 底面せん断応力、 τ_{cr} : 限界せん断応力である。しかし、通常は式中の M 、 τ_{cr} に関する正確な情報がない場合が多い。これらのモデルパラメータの空間分布を正確に求めることは、正確な底泥輸送シミュレーションを行うために非常に重要であるといえる。

簡便な方法によりこれらパラメータを求めるための現場用の測定装置については、山本ら(2014)による研究事例がある。山本らは図-1 に示すような円筒形状の底泥巻き上げ装置を開発し、現地適用試験を行った。しかし、海水を上部から吹き付けて巻き上げを起こしており、現実の海域で巻き上げを起こす流れを再現しておらず、乱流構造の違いがあると考えられる。

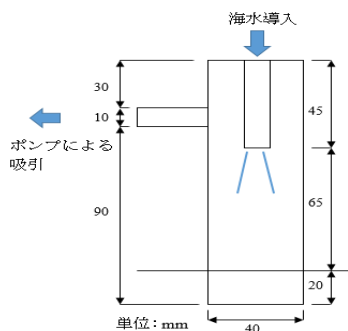


図-1 山本らが開発した底泥巻き上げ装置の概要

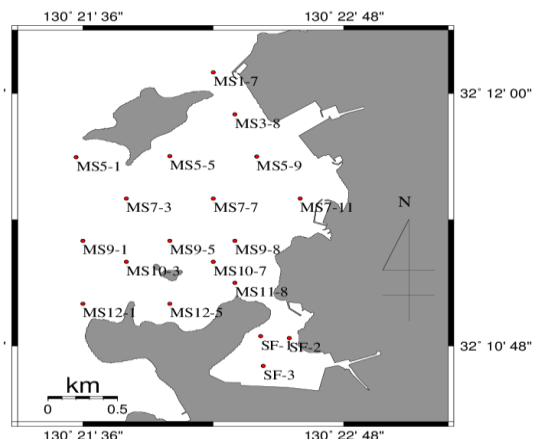


図-2 調査地点（水俣湾）

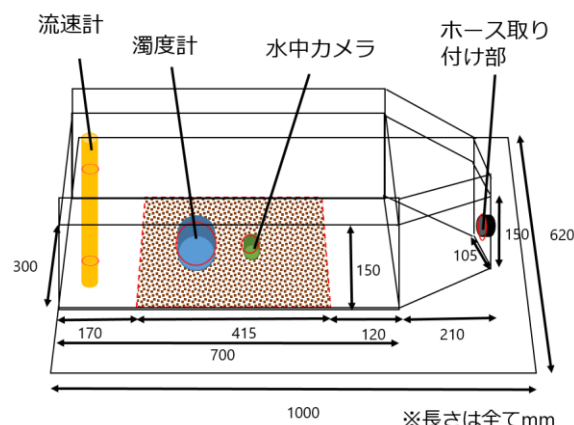


図-3 底泥巻き上げ装置外観

そこで本研究では、海底に平行な流れを発生させる箱体状の装置を作成し、1点30分程度の短時間でパラメータの測定を可能にする方法の開発を試みた。

2. 研究内容

(1) 調査地点

観測地点は図-2 に示した水俣湾内の19地点を選定し、2019年に2回の現地調査を行った。

(2) 研究方法

アクリル製直方体装置の外観を図-3に示す。赤枠部は底面を切り取っており、船上のポンプからホースを通じて箱体内部に海水を送り、底面に平行な流

れを起こすことができ、流れの強さに応じて底泥が巻き上がる。流速、濁度は、それぞれ箱体に装着した電磁流速計、濁度計を用いて同期計測される。

本装置を用いて、2019 年の 10/29 に 12 地点、11/19 に 7 地点の観測を実施した。観測方法は、①装置を底泥の巻き上げが発生しないように観測船上から慎重に下ろして着底させる。②ポンプを始動し、バルブを調整して流量を段階的に上げる。同一流量を 2 分程度流す。水中カメラの映像から巻き上げの発生の有無を確認する。③ポンプのバルブが全開になるまで繰り返す。

限界せん断応力 τ_{cr} の算出は、水中カメラの動画記録と濁度計データを比較し、最初に巻き上げが起きたタイミングを決定することで行う。底面上高さ a の位置で測定された流速 $u(a)$ は、完全粗面对数則(2)より摩擦速度 u_* が算出され、式(3)よりせん断応力に変換される。粗度高さ k_s は現地で想定しているシェジー係数 C 、代表水深として最も深い地点の水深を数値モデルと整合させるように 10 層で考えて、層厚を半分にした値 h 、カルマン定数 $\kappa(=0.4)$ を用いて式(4)より算出した。

$$\frac{u(a)}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{a}{k_s} + 8.5 \quad (2)$$

$$\tau_b = \rho u_*^2 \quad (3)$$

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = 8.5 - \frac{1}{\kappa} + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{h}{k_s} \quad (4)$$

本研究では $C=50$, $h=1.28$ m, $g=9.80665$ m/s², $a=0.080$ m(10/29), 0.056 m(11/19)を用いた。

3. 結果

過去に水俣湾の底泥を用いて実施した濁度-SS 関係の測定結果($SS=2.8 \times \text{濁度}$)を用いて、濁度を SS 濃度に変換した。せん断応力と SS 濃度の関係について、最初の巻き上げ発生以降について回帰直線を求め、せん断応力を示す横軸との交点を τ_{cr} とした。計算では、バックグラウンドの SS 濃度を除くために、 τ_{cr} が発生したタイミングで SS 濃度が 0 になるように補正した。地点 MS11-8 の τ_{cr} と SS 濃度との関係を図-3 に示す。各観測地点の τ_{cr} を表-1 に示す。Winterwerp & van Kesteren(2004)には、 τ_{cr} の一般的な範囲として 0.1~5.0Pa (泥から砂まで) が示されていた。それらと比べて τ_{cr} が小さい値となった原因としては、底泥

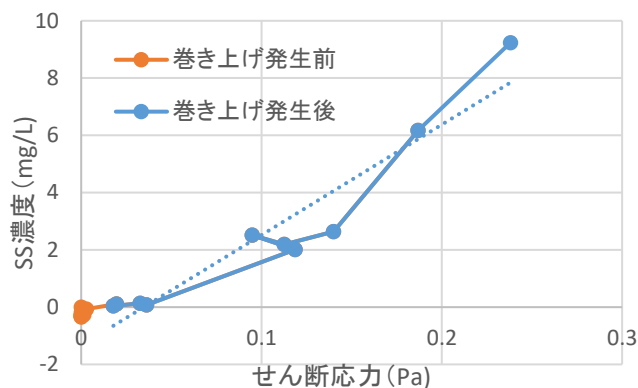


図-4 せん断応力と SS 濃度の関係 (MS11-8)

表-1 各地点の限界せん断応力

地点	限界せん断 応力 (Pa)
MS3-8	0.01033
MS5-9	0.01011
MS5-5	0.00329
MS5-1	0.03991
MS9-1	0.00258
MS12-1	0.00256
MS12-5	0.00109
MS9-5	0.01492
MS9-8	0.05455
MS11-8	0.03471
SF-3	0.04835
MS1-7	0.05251
SF-1	0.00273
SF-2	0.02351
MS10-7	0.00561
MS10-3	0.00505
MS7-3	0.01768
MS7-7	0.03213
MS7-11	0.00459

の含水比が高く流動性の高い fluid mud が分布していた可能性が考えられる。

4. 結論

底泥輸送数値モデルにおける巻き上げに関するパラメータを現地で簡易に測定できる測定装置を開発した。水俣湾内の 19 地点において底面限界せん断応力を現地調査により測定した。所要時間は 1 地点当たり約 30 分であり、簡便に多点でのパラメータ設定ができるようになった。今後、もう一つのパラメータ M についても算出し、講演時に発表する予定である。

【謝辞】本研究は科研費基盤研究(B)(JP17H04478)により実施された。【参考文献】1) 松野下ら (2018): 土論 B2, 74(2), I_1153-I_1158., 2) 野村ら (2014): 土論 B3, 70(2), I_582-I_587., 3) Winterwerp and van Kesteren (2004): Introduction to the Physics of Cohesive Sediment in the Marine Environment, Elsevier.