

沿岸域の底泥輸送シミュレーションにおける 巻き上げパラメータの現地測定装置の開発

九州大学大学院 学生会員 ○安部哲平・井手貴仁 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 に示すような角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

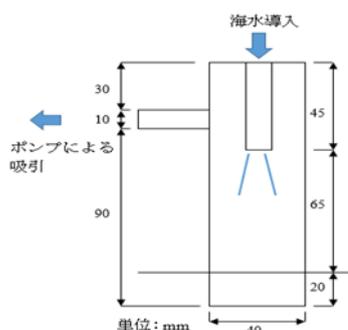


図-1 山本らが開発した底泥巻き上げ装置の概要

れる。

2. 内容

2.1 調査対象地点

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。

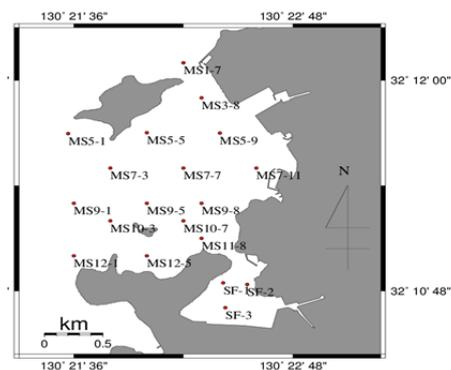


図-2 調査地点 (水俣湾)

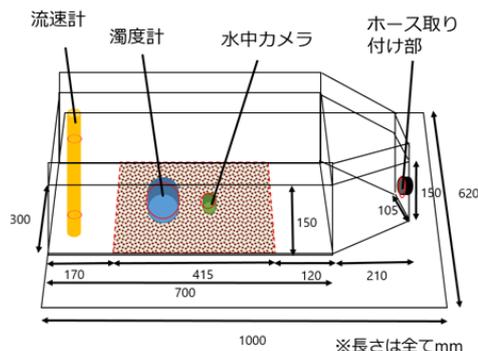


図-3 底泥巻き上げ装置外観

2.2 調査方法

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

キーワード：底泥輸送、限界せん断応力、浸食パラメータ

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 九州大学 W2 号館 1013 号室 TEL : 092-802-3412

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、完全粗面対数則(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。浸食パラメータ M の算出は、まず箱体装置内部の高さ Δz , 単位時間 Δt , 各時刻の SS 濃度 c_n , 箱体装置内部の長さ Δx , 各時刻の流速 u_n を用いて式(5)より、浸食フラックス E を求める。

$$E = \frac{\Delta z}{\Delta t} (c_{n+1} - c_n) + \frac{\Delta z}{\Delta x} u_n c_n \quad (5)$$

本研究では $\Delta z=0.15$ m, $\Delta t=2$ s (10/29), 1 s (11/19), $\Delta x=0.415$ m を用いた。次に式(1)に E , 限界せん断応力 τ_{cr} , 底面せん断応力 τ_b を代入して M を決定する。

2.3 結果と考察

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=0.28×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。一例として、地点 MS11-8 の τ_b と SS 濃度との関係を図-3 に示す。各観測地点の τ_{cr} と浸食パラメ

ータ M を表-1 に示す。Winterwerp & van Kesteren (2004)より、 τ_{cr} の一般的な範囲は 0.1~5.0Pa (泥から砂まで) である。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。

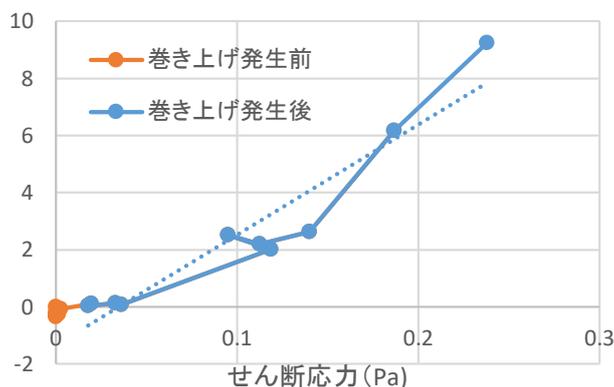


図-4 せん断応力と SS 濃度の関係 (MS11-8)

表-1 各地点の限界せん断応力

地点	限界せん断 応力 (Pa)	浸食パラメータ M(kg/m ² /s)
MS3-8	1.03x10 ⁻²	1.19x10 ⁻³
MS5-9	4.13x10 ⁻³	4.77x10 ⁻²
MS5-5	3.29x10 ⁻³	2.31x10 ⁻⁴
MS5-1	5.16x10 ⁻³	2.03x10 ⁻⁴
MS9-1	5.70x10 ⁻³	8.11x10 ⁻³
MS12-1	2.58x10 ⁻³	3.39x10 ⁻⁴
MS12-5	7.71x10 ⁻⁴	8.10x10 ⁻⁵
MS9-5	5.56x10 ⁻³	6.10x10 ⁻³
MS9-8	9.72x10 ⁻³	1.87x10 ⁻³
MS11-8	3.47x10 ⁻²	7.17x10 ⁻³
SF-3	4.84x10 ⁻²	1.19x10 ⁻²
MS1-7	5.25x10 ⁻²	9.44x10 ⁻⁴
SF-1	2.73x10 ⁻³	5.14x10 ⁻⁴
SF-2	7.17x10 ⁻³	9.23x10 ⁻³
MS10-7	5.61x10 ⁻³	1.43x10 ⁻³
MS10-3	6.27x10 ⁻⁴	5.44x10 ⁻³
MS7-3	4.70x10 ⁻⁴	8.70x10 ⁻⁵
MS7-7	4.61x10 ⁻³	3.69x10 ⁻⁴
MS7-11	5.61x10 ⁻³	2.00x10 ⁻⁴

3. 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と浸食パラメータ M 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。

[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) 山本ら (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.