

Burgers 渦を利用した薄層汚泥除去装置

熊本大学工学部 学生会員 ○古賀 聖
 熊本大学大学院 正 会 員 大本 照憲
 熊本大学工学部 正 会 員 矢北 孝一

1. はじめに

1960年代中頃から1990年まで船底や魚網へのフジツボ等の付着防止のために使用されたTBTが長年に渡り底層に沈殿し、二枚貝激減の原因物質となっている事が明らかになった。TBTは水中で0.001ng/gの濃度でイボニシやバイ貝のメスをオス化するということが報告されている。また、2002年の調査により実際の漁港の底層におけるTBTの検出濃度は有明海で16~77ng/g, 博多湾では106~1101ng/gであった。また九州北部沿岸域の漁港において除去厚さは海床面より約10cmの薄層であることが報告されている。

底質の改善の一次処理として浚渫が挙げられるが、従来のバケット型浚渫工法などの浚渫技術は装置稼働時における撒き上げ、極めて薄い底層の浚渫に適していない等の問題を内包している。そこで、水流を用い TBT で汚染された底泥のみの除去が可能な薄層浚渫装置を提案した。模型を用いた検証実験を行い装置内の流れの構造を明らかにした。

2. 実験装置及び方法

図-1 に装置の形状及び寸法を示す。実験装置は縦 25cm, 横 25cm, 高さ 5cm のアクリル樹脂製のバケットの側壁隅角部に水の流入口として高さ 1cm, 幅 5cm の穴を開け、バケット上面の中心部に吐出口となる直径 2cm の円管を設置したものである。さらに、バケット内部の流れを整えるため円管下部にステンレス製で傘状の底部直径 12.5cm の整流装置を用意した。座標系はバケット底面の中心を原点として水平面内に x, y 軸をとり、鉛直上向きを z 軸とし、それぞれの座標系に対応した流速成分を U, V, W とする。実験条件を表-1 に示す。円管のみの場合と整流装置を設置した場合の実験を行い、河床から吐出口までの高さ H を変化させた。流速の計測には非接触型の代表的な画像処理法である PIV 法を用いた。計測システムの概略を図-2 に示す。

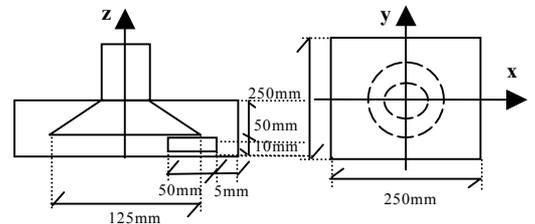
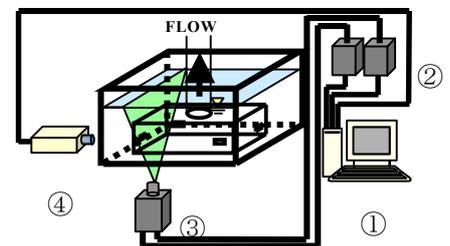


図-1 実験装置概要



①PC with Visiflow-software ③Double-pulsed LASER (Timing control & Analyze) Illumination System
 ②YAG-LASER Main unit ④CCD-cameraKodakMegaplus ES1.0

3. 装置内の流れ場

図-3 に RUN1 における水平面内の流速ベクトルを示す。水平面内において流体の回転運動が生じており、中心部の流速ベクトルが壁面付近の流速ベクトルに較べて著しく大きな値となっている。また、図-4 に RUN1 における y=0cm の鉛直面内の流速ベクトルを示す。x=0 の装置中心部において上向きのベクトルが卓越している。よって装置内の流れ場は三次元の螺旋的な流れであると認められた。

この装置内の渦運動は Burgers 渦の流れ場と類似している。Burgers 渦の周方向流速成分 V_θ と z 軸方向の渦度成分、径方向

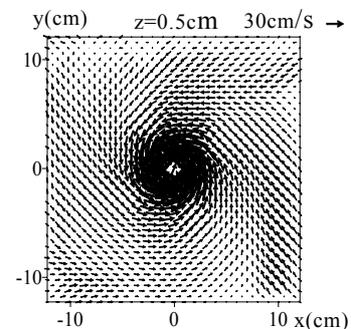


図-3 水平面の流速ベクトル(RUN1)

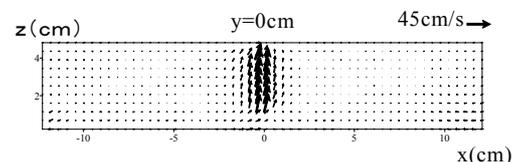


図-4 縦断面の流速ベクトル (RUN1)

表-1 実験条件

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6
整流装置の有無	無し			有り		
海床からの高さH(cm)	5	4	3	2	2	3
流量 Q(cm ³ /s)	314	314	314	314	314	314

の流速成分の理論式は下記のように示される.

$$V = V_\theta = \frac{\Gamma_0}{2\pi r} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{r^2}{l^2}\right) \right\} \quad (1)$$

ここで r は原点からの距離で, Γ_0 は初期時刻における循環である. 渦の特性長 l は, 中心収束流の強さ α と粘性 ν による平坦化の比の平方根として(2)式で表される. 今回は粘性 ν を動粘性係数ではなく渦動拡散係数として捉えている.

$$l = \sqrt{\frac{2\nu}{\alpha}} \quad (2)$$

また, z 軸方向の渦度成分 ω_z は

$$\omega = \omega_z = \frac{\Gamma_0}{\pi l^2} \exp\left(-\frac{r^2}{l^2}\right) \quad (3)$$

となり, 径方向の流速成分 V_r は

$$U = V_r = -\alpha r \quad (4)$$

である. ここで図-5, 図-6, 図-7 に RUN5 における周方向の流速成分, z 軸方向の渦度成分, および径方向の流速成分の実測値と理論式から得られた近似曲線を示す. 図-5 より周方向の流速成分の実測値の分布と理論値の分布は類似した形となっている. また, 図-6 より渦度の実測値と理論値の分布は装置中心付近の $x=0\text{cm}$ 周辺で局所的のものとなっている. 図-7 の径方向の流速成分について実測値は理論値の近似直線上に集中した分布となっている. よって, 装置中心部の流れ場は動粘性係数を渦動拡散係数と捉えることにより Burgers 渦の流れ場として近似的に説明できると言える.

次に, 図-8, 図-9, 図-10 に RUN1 から RUN6 における理論値の V/V_{\max} , ω/ω_{\max} , U/U_{\max} の比較を示す. 図-8 より V/V_{\max} の極大値を示す x 座標は RUN1 において $x=0.5\text{cm}$, RUN5 では $x=2.5\text{cm}$, RUN6 では $x=2.0\text{cm}$ となっている. また, RUN1 の $x=12.5\text{cm}$ における流速は RUN5 における流速の約 16% となっている. 図-9 では RUN1 から RUN6 において ω/ω_{\max} の理論値に顕著な差はみられない. 図-10 より収束流の強さを示す $|\alpha|$ の値は RUN1 で 0.502 と最も大きく, RUN5 で 0.274 と最も小さい値を示している. これらのことより, 整流装置を設置し海床に近づけることにより装置内の流れ場は一様化される傾向にあると示唆される.

4. おわりに

本研究より, 装置内部において流体の螺旋的な挙動が観測された. この螺旋的な流れ場を流速成分及び渦度の z 軸成分について詳細に捉えた結果, 装置内部の流れ場は Burgers 渦によって近似的に説明できることが分かった. また, 理論値の比較より周方向流速成分の極大値となる x 座標が RUN5 で最も大きく, 収束流の大きさ $|\alpha|$ の値が RUN5 で最も小さくなることがわかった. よって整流装置を設置し海床に近づけることにより中心付近での流れ場が一様化されるという結果が得られた.

参考文献

永岡賢一: プラズマ中における Burgers 渦の観測, 日本物理学会 2002.9

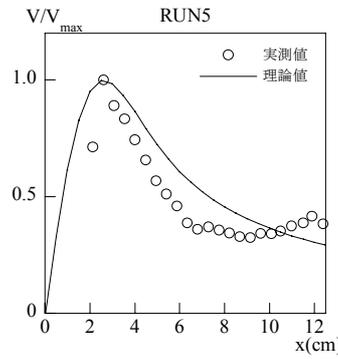


図-5 周方向流速成分

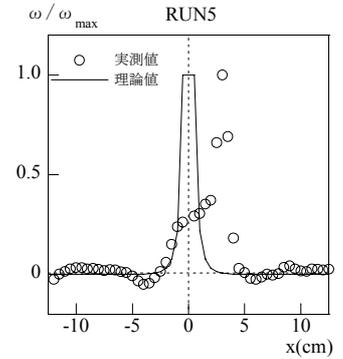


図-6 z 軸方向渦度成分

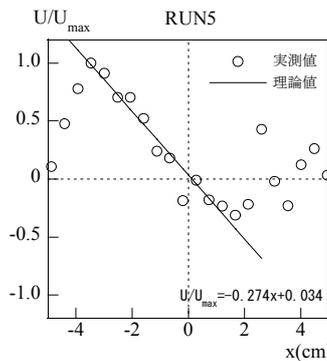


図-7 径方向流速成分

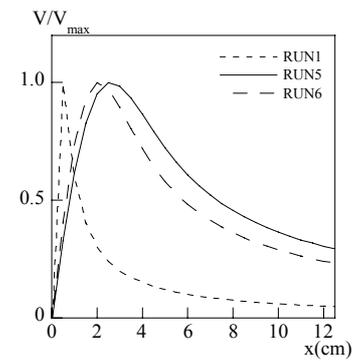


図-8 周方向流速成分の比較

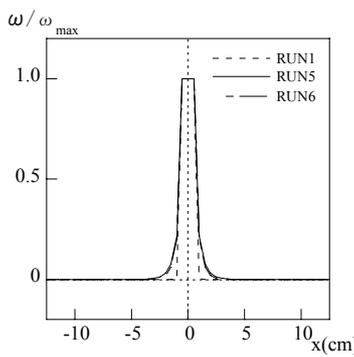


図-9 z 軸方向渦度成分の比較

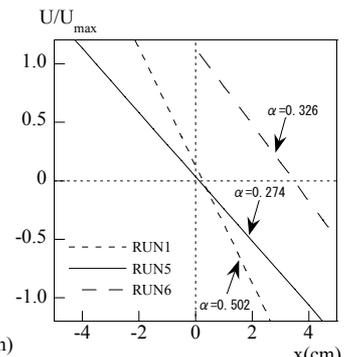


図-10 径方向流速成分の比較