

# 有明海諫早湾内の懸濁物質の応答特性に関する研究

佐賀大学工学部 学生員 田中宏明 正員 押川英夫  
九州大学大学院工学研究院 正員 田井明

## 1. はじめに

内湾浅海域における底泥粒子などの微細懸濁物質の挙動に関して、未だにその物理・化学的特性の詳細の評価には至っていない。本研究では、閉鎖性内湾である有明海諫早湾内の浅海域を対象に流況・水質等に関する定点連続観測を実施して、懸濁物質の代表値である濁度に及ぼす乱れ・波・流れ等の影響の把握を試みた。

## 2. 現地観測の概要

2016年2月22日から同年3月29日にわたり、図1に示す有明海諫早湾内の九州農政局により水質自動観測櫓が設置されたB3地点(32°53'48"N, 130°12'59"E)において、各種計測器を海底設置させて連続観測を実施した。主な使用機器と計測条件を表1に示す。表中の高さは機器設置時の海底面上のセンサーの測定位置である。なお、B3の平均水深は8.2m、表層底泥の中央粒径(機器の設置と撤去時に複数回採泥された平均値)は $d_{50}=31\mu\text{m}$ である。

## 3. 観測結果および考察

観測期間中のB3における毎正時の有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ 、波高計による20分間の水面変動の平均値に基づく潮位に相当する平均水深 $WL$ 、濁度の時系列の一部を図2に示す。本研究では、後述のように砕波イベントを含んでいることから、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 $WL$ については、超音波式波高計に付属の水圧センサーによる値を示している。

図2より、3月9日付近の濁度と有義波が共に大きくなっていることが分かる。以降では、諫早湾の懸濁物質の応答に顕著な影響を与えたイベントとして3月9日に焦点を絞り、特に0時と10時、12時を比較することで当該イベントの特性について検討する。なお、図2の $WL$ から分かるように、この時期はほぼ大潮に相当しており、潮汐と潮流の影響が大きいイベントである。

計測された物理量の瞬時値の例として、超音波式波高計によって得られた3月9日の10時と12時の底面付近の圧力(水頭) $p$ と、超音波による水深 $\eta$ の時系列を図3に示す。これより、12時の図

3(b)においては $p$ と $\eta$ が周期4.2秒で同様な応答を示しているが、10時の図3(a)においては $p$ と $\eta$ の応答が顕著に異なっており、225s付近の $\eta$ が(正弦波などと比較して)著しく崩れていることが分かる。圧力式に基づく有義波高 $H_{1/3}$ が12時では0.61mであるのに対し、10時の $H_{1/3}$ は0.89mと高いことも踏まえると、12時では砕波が起きていたものと考えられる。

次に、超音波式流速計による10時と12時の流速と圧力 $p^*$ の経時変化を図4に示す。 $u, v, w$ はそれぞれ東方、北方、鉛直上向きの流速成分、 $p^*$ ( $p$ とは測定位置とサンプリング周波数が異なる)は底面付近の圧力(水頭)である。その際、レイノルズ応力等については、座標軸の取り方によって値が異なることから、本研究ではVectorの

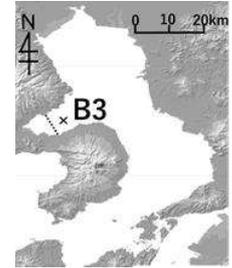


図1 観測地点

表1 主な使用機器と計測条件

測定項目	使用機器	高さ	記録間隔など
流速	超音波式流速計(Nortek社製 Vector, 水圧センサー付き)	20cm	2時間毎に16Hzで256秒
波と水深	超音波式波高計(アイオーテック社製 WaveHunter99-Σ)	50cm	1時間毎に5Hzで1200秒
濁度	クロロフィル濁度計(JFEアドバンテック社製 Compact-CLW)	20cm	30分毎に2Hzで30秒

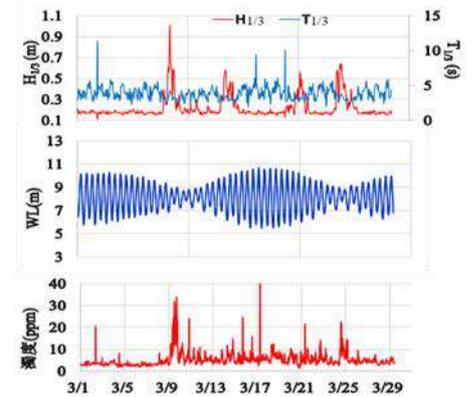


図2 平均量の時系列(有義波,  $WL$ , 濁度)

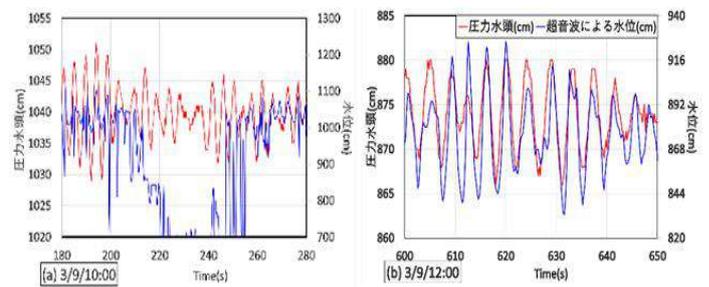


図3 水深と圧力水頭の瞬時値 [(a)10時, (b)12時, 凡例は共

データ ( $u, v, p^*$ ) の1次処理的に行った統計解析結果から得られた平均波向き方向 (10時は  $38.3^\circ$  , 12時は  $32.9^\circ$  ) に  $u, v$  を座標変換することで、波向きの方向を主軸とする直交座標系 (波向き方向の流速成分を  $u^*$ , それと直交する水平成分を  $v^*$ ) においてレイノルズ応力等の乱流特性量を再評価している。

10時と12時の図4(a), (b)では、対応する図3と同じ周期の波が卓越しているのが見て取れる。座標変換前の1次処理段階の0時, 10時, 12時のレイノルズ応力の絶対値  $|\tau|$  はそれぞれ  $0.80 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ ,  $16.1 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ ,  $14.6 \text{ cm}^2/\text{s}^2$  で、変換後は  $0.48 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ ,  $1.41 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ ,  $0.72 \text{ cm}^2/\text{s}^2$  となっており、各値が顕著に小さくなっていることから、濁度との相関を検討する際には波浪や平均流の卓越方向に留意する必要がある。なお、変換に伴う0時の減少量が小さくなっているのは、波向きが  $-103^\circ$  と座標変換の角度が直角に近いからである ( $H_{1/3}$  は  $0.25\text{m}$ )。

瞬時値の時系列データをスペクトル解析した結果を図5に示す。 $F_\eta(f)$ は超音波による水深  $\eta$ ,  $F_p(f)$ は底層水圧  $p$ ,  $F_{u^*}(f)$ は  $u^*$ ,  $F_{v^*}(f)$ は  $v^*$  の各スペクトル,  $f$ は周波数(Hz)である。図3や図4で波が卓越していた12時の図5(c)において、水深と流速のスペクトルで同じ  $f=0.24\text{Hz}$  (周期  $4.2\text{s}$ ) に顕著なピークが見られるとともに  $F_\eta(f)$ に-4乗則に従う傾きの部分が認められることから、底面付近の流速にも水表面上の風波の影響が及んでいることが理解される。また、風波によるピーク付近を除くと流速のスペクトルに-5/3乗則に従う傾きが見られることから乱流が発達していることが理解できる。

図5(b)の10時のスペクトルについては、 $F_\eta(f)$ に風波の-4乗則に従う傾きが見られず、 $F_\eta(f)$ の(特に低周波側の)パワーが図5(c)と比べて著しく大きくなっている。 $F_\eta(f)$ に風波の-4乗則に従う周波数帯が見られないのは、既述したように10時では砕波が発生しているためである。一方、流速のスペクトルについては、図5(b)と図5(c)ではほぼ同様な結果となっている。なお、図5(a)の0時については、(圧力を含めた)水深と流速のピークの値が顕著に小さくなっている点を除けば、砕波のない図5(c)の結果とスペクトル形状はほぼ同じである。

最後に、既述した波浪や乱れと濁度との相関について検討する。0時の濁度,  $WL$ , 底層平均流速  $|V|$ , 乱れエネルギー  $k$  はそれぞれ,  $2.8\text{ppm}$ ,  $8.27\text{m}$ ,  $0.18\text{m/s}$ ,  $3.16 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ , 潮流に相当する水面変位  $dWL/dt$  は  $-1.12\text{m/hr}$  であった。また、満潮の10時ではそれぞれ,  $23.2\text{ppm}$ ,  $10.57\text{m}$ ,  $0.11\text{m/s}$ ,  $21.0 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ ,  $0.11\text{m/hr}$  で、12時ではそれぞれ,  $31.7\text{ppm}$ ,  $8.99\text{m}$ ,  $0.18\text{m/s}$ ,  $20.6 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ ,  $-0.97\text{m/hr}$  となっていた。従って、風波が弱い0時では、下げ潮時で潮流による平均流速は速いものの濁度は小さい。それに対して1周期経過後の12時では、潮流速が若干弱くなっているにも拘わらず、波浪の増加に伴い乱れ (風波成分を除去していない  $k$  および  $|\tau|$ ) が著しく大きくなっていることから濁度が顕著に増加している。一方、満潮に相当する10時では風波が卓越していた上に砕波も発生していることから  $k$  や  $|\tau|$  などの乱れが顕著になり、満潮で潮流速が非常に小さいにも拘わらず、 $|V|=0.11\text{m/s}$  と平均流速も大きくなることで濁度が増加している。

4. おわりに

本研究では、有明海諫早湾内の浅海域の懸濁物質の応答特性を把握するために、冬季暴浪時の濁度が大きかったイベントについて検討を行った。これより、内湾浅海域における濁度の評価・予測においては、砕波を含む波浪の影響を考慮する必要性が改めて示された。

謝辞：本研究の一部は、有明海地域共同観測プロジェクト(COMPAS)の援助の下に行われた。ここに記して謝意を表します。

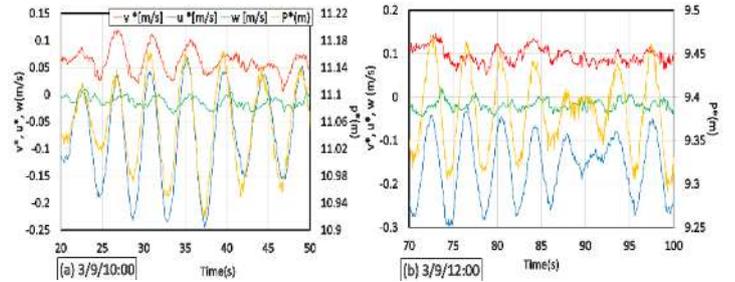


図4 流速と圧力水頭の瞬時値 [(a)10時, (b)12時, 凡例は共通]

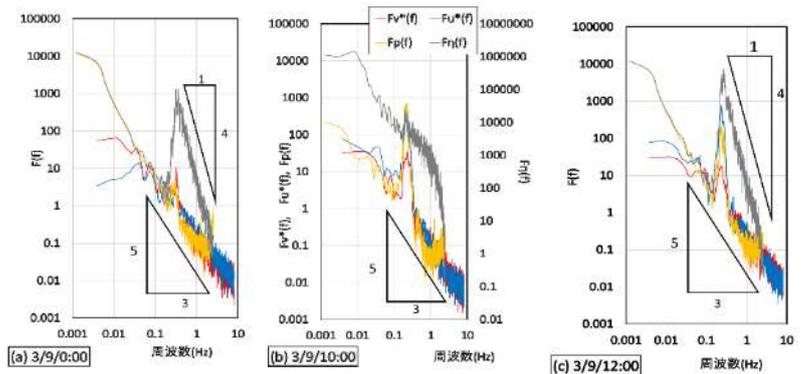


図5 周波数スペクトル [(a)0時, (b)10時, (c)12時, 凡例は共通]