

有明海諫早湾内における濁度の応答特性に関する研究

佐賀大学理工学部 学生会員 影山和馬, 佐賀大学大学院工学系研究科 正員 押川英夫

九州大学大学院工学研究院 正員 田井明, 佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 非会員 速水祐一

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

2017年7月1日から同年9月11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。使用機器と主な計測条件を表1に示す。表中の測定高さは機器設置時の海底面上のセンサーの位置である。なお、B3の平均水深は8.4m、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。



図1 観測地点

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 、VECTORによる瞬時流速から求めた乱れエネルギー k 、濁度の時系列の一部を図2に示す。なお、一般的に水圧式よりも超音波式の方が計測精度は高いものの、後述のように水表面に白波が立っているようなイベント時には超音波式の精度が極端に悪くなることから、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、 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、7月4日の濁度と有義波が顕著に大きくなっていることが分かる。2017年7月4日には台風3号が九州に上陸・縦断して有明海を通過しており、B3地点に最接近したのは9時頃であった。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7月4日の9時頃に焦点を絞り、その前後の8時と10時を併せて検討する。なお、図2の WL から分かるように、このイベントは小潮期に相当しており、潮汐・潮流の影響は小さい。

当該イベント時に計測された物理量の瞬時値の例として、7月4日10時の超音波式流速計による流速と圧力の経時変化を図3に示す。 u 、 v 、 w はそれぞれ北方、東方、鉛直上向きの流速成分、 p^* は底面付近の圧力(水頭)で水面変位にほぼ相当する。これより、10時頃には周期3.8程度の波が卓越しているのが見て取れる。

次に、超音波式波高計によって得られた7月4日9時と10時の瞬時値の時系列として、底面付近の水圧 p (p^* とは測定位置とサンプリング周波数が異なる)と、超音波による水深 η を図4に示す。10時の図4(b)においては p と η が図3と同じ周期3.8秒で同様な応答を示しているが、9時の図4(a)においては p と η の応答が顕著に異なっており、600s付近の η 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。したがって、台風来襲も考慮すると、7月4日9時では砕波が発生して

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 WaveHunter99-2)	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

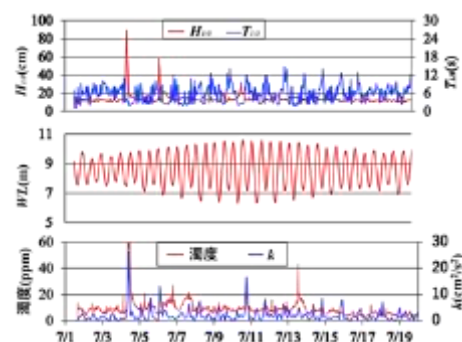


図2 各平均量の時系列(上から有義波、 WL 、濁度と k)

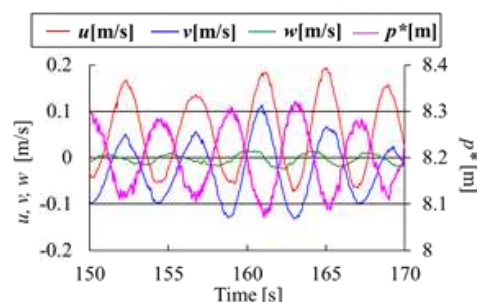


図3 超音波式流速計による各流速成分と水圧の瞬時値の時系列 (2017/7/4, 10時)

水表面が白波立ったことから、超音波式波高計による水面の測定精度が悪化したために p と η の応答が顕著に異なっていたものと推定できる。

図 3 や図 4 で示したような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。 $F_s(f)$ は超音波による水深 η のスペクトル, $F_p(f)$ は底層水圧 p のスペクトル, $F_u(f)$ は北方流速 u のスペクトル, f は周波数(Hz)である。7月4日10時の図 5(c)より, $F_s(f)$ には図 3 と図 4(b)で示した周期 3.8 秒の波に相当する $f=0.26\text{Hz}$ に顕著なピークが見られるとともに、傾きが-4の周波数帯が発達しており、-4 乗則に従う風波が発達していることが理解される¹⁾。 $F_p(f)$ と $F_u(f)$ においても $F_s(f)$ と同じ $f=0.26\text{Hz}$ に顕著なピークが見られており、風波の運動が海底付近の流速波形にも表れている。また、ピーク付近を除くと、 $F_u(f)$ には乱流の-5/3 乗則に従う慣性小領域が認められる。

図 5(a)の8時については、スペクトル形状が図 5(c)の10時とほぼ一致している。異なる点としては、図 5(a)のピーク周波数が $f=0.32\text{Hz}$ (周期 3.1s) となっていること、全体的に図 5(a)の各スペクトルのパワーが小さくなっていることが挙げられる。

図 5(b)の9時のスペクトルについては、 $F_s(f)$ に風波の-4 乗則に従う傾きが見られず、 $F_s(f)$ と $F_u(f)$ のスペクトルの(特に低周波側の)パワーが図 5(c)と比較して顕著に大きくなっている。 $F_s(f)$ 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9時では碎波が発生しているためであり、碎波がなければ台風の再接近に伴う波浪の発達により卓越するはずの-4 乗則に従う周波数帯の波のパワーが、碎波により(より大きな時間スケールの変動として)低周波側に移行しているものと考えられる。一方、図 4 で示されたように応答が鈍く碎波の影響が顕著に認められない圧力については、9時と10時の $F_p(f)$ がパワーも含めてほぼ一致しており、碎波が生じている点を除けば、9時と10時は同程度の波であったものと考えられる。図 5(b)の $F_u(f)$ には、図 5(c)と比較して乱流の-5/3 乗則が成立している周波数帯が広く認められ、乱流が顕著に発達していることが理解される。特に、 $F_u(f)$ のピーク付近より低周波側のパワーが大きいことから、碎波に伴う乱れの増加が底層流速にも影響しているものと考えられる。

図 3 や図 5 から分かるように、風波が発達している条件では波と乱れが重合していることから、波のピーク周波数付近の流速スペクトルのパワーを-5/3 乗則で置き換えてフーリエ逆変換した流速の時系列から乱流統計量を再計算した¹⁾。その結果として得られる波浪成分が除去された乱れエネルギー k^* は、8時で $0.72\text{cm}^2/\text{s}^2$ 、9時では $2.7\text{cm}^2/\text{s}^2$ 、10時では $0.84\text{cm}^2/\text{s}^2$ であり、各時間の濁度はそれぞれ、14, 71, 56ppm であった。8時と10時の k^* の値は同程度であるのに対し、9時の k^* の値は顕著に大きくなっていることから、9時で顕著に見られた碎波が底層の乱れ(乱流)の発達を促進したことで、濁度が 71ppm とより大きくなっていたものと考えられる。なお、ここでの k^* は、超音波式波高計に付属の電磁流速計による水平2方向の流速成分より求めている。

4. おわりに

本研究では、有明海諫早湾内の浅海域の濁度の応答特性を把握するために、台風通過時の濁度が大きかったイベントについて検討を行った。波浪成分を除去した乱れ成分の統計処理を行った結果、碎波とそれに伴う乱れが濁度の増加に寄与している可能性が示された。これより、内湾浅海域の濁度の評価・予測においては、碎波を含む波浪の影響を考慮する必要があるものと考えられる。

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。

参考文献 1)押川英夫・吉武竜馬・田井明・速水祐一：内湾浅海域における懸濁物質の応答特性，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.72，No.4，I_937-I_942，2016。

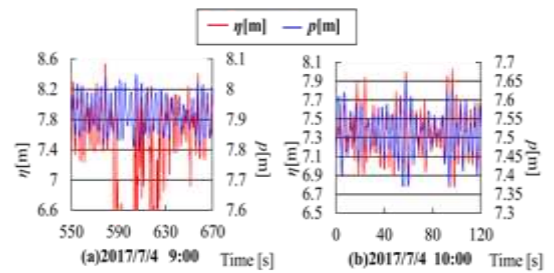


図 4 超音波式波高計による水位と底層の圧力水頭の瞬時値の時系列 (凡例は共通)

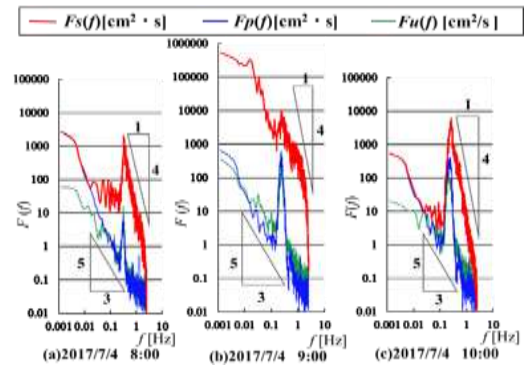


図 5 周波数スペクトル (凡例は共通)