

有明海諫早湾内の懸濁物質濃度の応答特性に関する研究

佐賀大学大学院 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

2013年12月22日から2014年3月2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槽が設置された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 $d_{50}=26\mu\text{m}$ である。なお、今回用いられた一連のデータは、押川ら(2016)が既に解析を行っているものの、ここでは新たに得られた解析結果を含めた検討内容について報告する。

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 、差分に基づく WL の時間変化 dWL/dt (潮流の代表値)、乱れエネルギー k 、濁度の時系列の一部を図2に示す。本研究では、後述のように碎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、押川ら(2016)が主に検討した2月18日のイベントに加えて、2月11日付近の濁度と有義波 k が共に大きくなっていることが分かる。本研究では、諫早湾の懸濁物質の応答に顕著な影響を与えた2月11日付近のイベントに焦点を絞り、特に2月10日の17時と2月11日の17時の結果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、この時期は若潮期に相当しており、潮汐と潮流の影響は比較的小さい。

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10日と11日の17時の底面付近の圧力(水頭) p と、超音波による水深 η の時系列を図3に示す。これより、10日の図3(a)においては p と η が周期



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	測定高さ	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)	25cm	2時間毎に 32Hzで128秒
波と潮位	超音波式波高計 [アイオーテック社製 Wave Hunter99-Σ]	50cm	1時間毎に 5Hzで20分間
濁度	クロロフィル濁度計 (JFEアドバンテック社製 Compact-CLW)	35cm	30分毎に 2Hzで30秒間

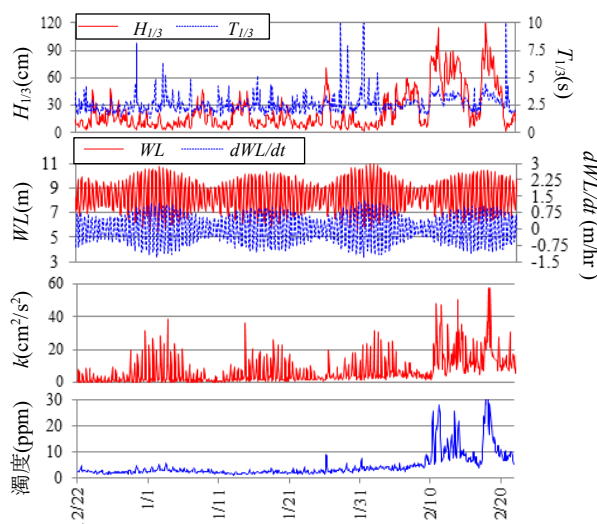
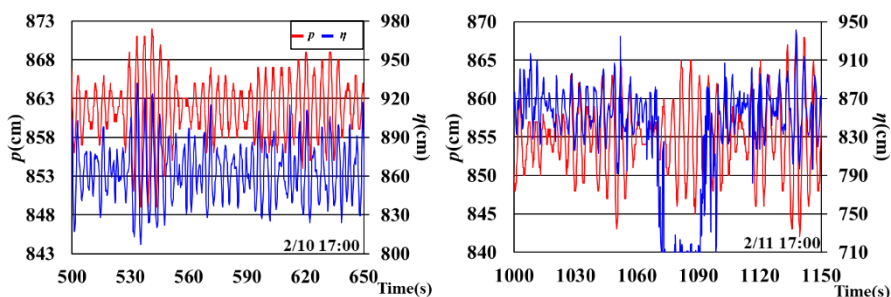
図2 各平均量の時系列
(有義波, WL , dWL/dt , k , 濁度)

図3 圧力水頭と水深の瞬時値 [(a)10日17時, (b)11日17時, 凡例は共通]

3.8 秒程度で同様な応答を示しているが、11 日の図 3(b)においては p と η の応答が一部で顕著に異なっており、1080s 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。圧力式に基づく $H_{1/3}$ が 10 日 17 時では 0.73m であるのに対し、11 日 17 時は 0.92m と高いことも踏まえると、11 日に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 11 日 17 時の流速と圧力 p^* の経時変化を図 4 に示す。 u, v, w はそれぞれ北方、東方、鉛直上向きの流速成分、 p^* (p とは測定高さとサンプリング周波数が異なる) は水圧センサーの出力値で水面変位にほぼ相当する。これより、11 日には周期 4 秒程度の波に乱れが重なっていることが見て取れる。

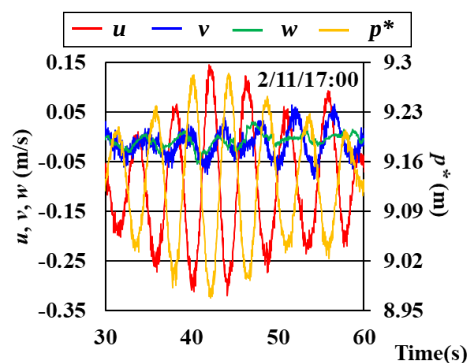


図 4 超音波式流速計による各流速成分と水圧の瞬時値の時系列

図 3 や図 4 に示す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。 $F_u(f)$, $F_v(f)$, $F_w(f)$ は、各流速成分(u, v, w)のスペクトルであり、 $F_\eta(f)$ と $F_p(f)$ はそれぞれ超音波による水深 η 、底層水圧 p のスペクトルである。 f は周波数(Hz)である。

図 5(a) より、各スペクトルにおいて周期 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、 $F_\eta(f)$ に -4 乗則に従う傾きが認められることから、底面付近の流速にも風波の影響が及んでいることが理解される。また、ピーク付近を除くと流速スペクトルに乱流の -5/3 乗則に従う慣性小領域が認められる。

図 5(b) の 11 日に関して、 $F_\eta(f)$ に -4 乗則に従う傾きが見られず、特に低周波側のパワーが図 5(a) 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 11 日 17 時には砕波が発生しているためである。図 3 で示されたように応答が鈍く砕波の影響が顕著に認められない $F_p(f)$ に関して、両日ともに波浪が卓越していたものの、10 日に比べてピーク値が顕著に大きい点から 11 日の波高がより高かったことが理解される。また、図 5(b) の $F_u(f)$ でピークを除いた -5/3 乗則に従う部分のパワーが $F_v(f)$, $F_w(f)$ より顕著に大きくなっていることが分かるが、北からの卓越波（東を 0 とした平均波向 92° ）が砕波している状況下において、南北流速 u の卓越波成分だけでなく広範囲の周波数成分が増加しており、乱流の非等方性が顕著になっている。因みに u と v の乱れ強度の割合は 10 日の 1.8 に対し、11 日には 3.5 と顕著に増加している。

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。10 日の濁度、 WL 、底層平均流速 $|V|$ 、乱れエネルギー k はそれぞれ、5.2ppm、8.41m、5.5cm/s、 $12\text{cm}^2/\text{s}^2$ 、潮流に相当する水面変位 dWL/dt は 0.34m/hr であった。また、11 日にはそれぞれ、14.1ppm、8.28m、8.0cm/s、 $47\text{cm}^2/\text{s}^2$ 、 0.57m/hr となっていた。従って、図 5(a) より 10 日には波浪が卓越しているが、若潮で潮流に相当する dWL/dt と平均流速が比較的小さいために濁度も小さい。一方、11 日には、風波が卓越していた上に砕波も発生していたことから乱れが顕著に大きくなったことで、濁度が高くなっていたものと考えられる。

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。その結果、底面付近の濁度には砕波とそれに伴う乱れの増加も寄与している可能性が示された。これより、内湾浅海域における懸濁物質の応答特性の評価・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。

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。

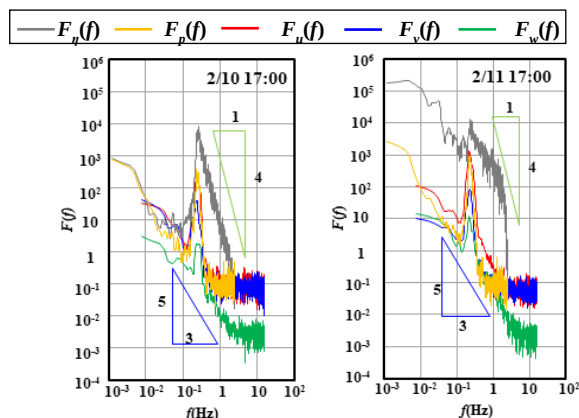


図 5 周波数スペクトル

[(a)10 日 17 時, (b)11 日 17 時, 凡例は共通]