内湾浅海域の懸濁物質の応答特性に関する研究

佐賀大学理工学部　学生会員　鶴崎永悟，佐賀大学大学院工学系研究科　正員　押川英夫・大串浩一郎
九州大学大学院　正員　田井明・学生会員　吉武竜馬，佐賀大学低平地沿岸海域研究センター　速水祐一

1. 研究目的

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・化学的な詳細の把握・評価には至っていない．本研究では有明海諫早湾内の浅海域を対象に，懸濁物質の代表値と考えられる濁度の応答特性について，現地観測に基づく検討を行った．

2. 現地観測の概要

2015 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測点 B3(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行った．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}=31μm である．

図 1　観測地点

3. 観測結果と考察

図 2 に観測期間中の 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 分間の水位の平均値に基づく潮位に相当する平均水深 WL，超音波式流速分布計(ADP)による最下層の平均流速，濁度の時系列を示す．なお，一般的に水圧式よりも超音波式の方が精度は高いものの，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式波高計による値を示している．また，濁度の値はカオリン溶液による標準検定結果でバースト毎の平均値を用いている．

表 1　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	超音波式流速分布計(Nortek社製, Aquadopp profiler 2000kHz)	25cm	10分ごとに1Hzで1分間
波と水深	超音波式波高計(アイオーテクニック社製, Wave Hunter04-Σ)	55cm	1時間ごとに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)	30cm	30分ごとに2Hzで30秒間

図 2 より，7 月 16 日と 8 月 25 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．なお，2015 年 7 月 16 日頃は台風 11 号が四国・中国地方に上陸・縦断しており，8 月 25 日は台風 15 号が九州に上陸・縦断して有明海を通過している．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，7 月 16 日と 8 月 25 日に焦点を絞って検討を行う．

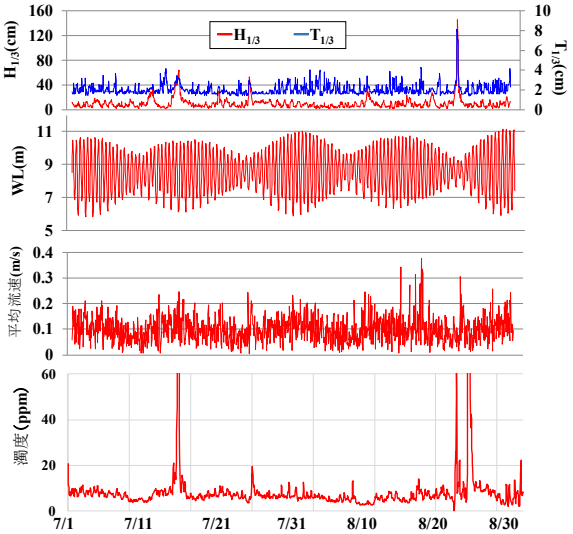

図 2　各平均量の時系列(有義波，WL，平均流速，濁度)

各イベントの際に計測された物理量の瞬時値の例として，7 月 16 日の 18 時と 19 時，および 8 月 25 日の 6 時と 8 時頃の数分間の経時変化を**図 3** に示す．これより，7 月 16 日 18 時(a)と 8 月 25 日 8 時(d)については，超音波による水位と底層水圧（水頭）がほぼ同様な応答を示していることが分かる．一方，7 月 16 日 19 時(b)と 8 月 25 日 6 時(c)については，水位と底層水圧の応答が顕著に異なっていることが分かる．

次に，波高計によるバースト毎(20 分間)の瞬時値をスペクトル解析した周波数スペクトル[$F(f)$]の例として，**図 3** と同一時刻における超音波によるスペクトル $F_s(f)$，底層水圧のスペクトル $F_p(f)$，東方流速成分のスペクトル $F_e(f)$を併せて**図 4** に示す．なお，fは周波数(Hz)である．

ここで，2015 年 7 月 16 日のイベントについて検討する．**図 2** で示したように 7 月 16 日は濁度が高いイベントであるが，18 時の濁度は 67.9ppm，19 時は 142ppm とそれらの値に顕著な違いが見られている．18 時では，圧力式波高計による WL, $H_{1/3}$, $T_{1/3}$ はそれぞれ, 7.26m, 0.88m, 4.0s，ADP による底層平均流速は 0.15m/s，波高計に付属の電磁流速計から求めた水平流速成分の乱れエネルギーk は 4.8cm^2/s^2 であった．**図 3**(a)の 18 時の時系列を見ると周期 4.8 秒程度の波が卓越していることが理解される．一方，**図 4**(a)の 18 時のスペクトルを見ると $F_s(f)$には 4.8 秒の波に相当する f =0.21Hz 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]．また，流速のスペクトル $F_e(f)$および水圧の $F_p(f)$についても同じ f =0.21Hz に顕著なピークが見られており，風波の運動が底面付近の流速波形にも表れている．また $F_e(f)$については，ピーク付近を除くと乱流の−5/3 乗則に従う慣性小領域が見られている．一方，19 時では，WL, $H_{1/3}$, $T_{1/3}$，底層

平均流速，k はそれぞれ 8.24m, 0.88m, 4.0s, 0.13m/s, 5.87cm^2/s^2 であり，18 時と比較して有義波や平均流速の大きさは殆ど変化していないものの乱れが増加している．また図 4(b) のスペクトルを見ると，18 時と同じ f =0.21Hz にそれぞれピークが見られており，$F_s(f)$については−4 乗則に従う傾きの部分が認められ，風波の影響が底層の流速にも及んでいることが分かる．前述のように図 3(a) では超音波による水位と底層水圧がほぼ同様な応答を示しているのに対し，図 3(b) では 770s 付近から分かるようにそれらの応答に顕著な差異が認められ，超音波による水面の波形が（正弦波などと比較して）著しく崩れていることが分かる．以上より，図 3(a) と (b) の瞬時値の時系列の差異は，台風接近に伴い発達した風波が 19 時には砕波を伴うようになり，水表面が白波立ったことから超音波式波高計の水面の測定精度が悪化したことに因るものと推定できる．濁度に波の大きさ（有義波高）が影響することは知られており，このイベントの濁度が大きい主因は台風接近に伴い風波が発達したことと考えられるが，19 時に濁度がより一層高まったことについては，有義波高が同一の 0.88m であったことを踏まえると砕波も影響していた可能性が指摘できる．

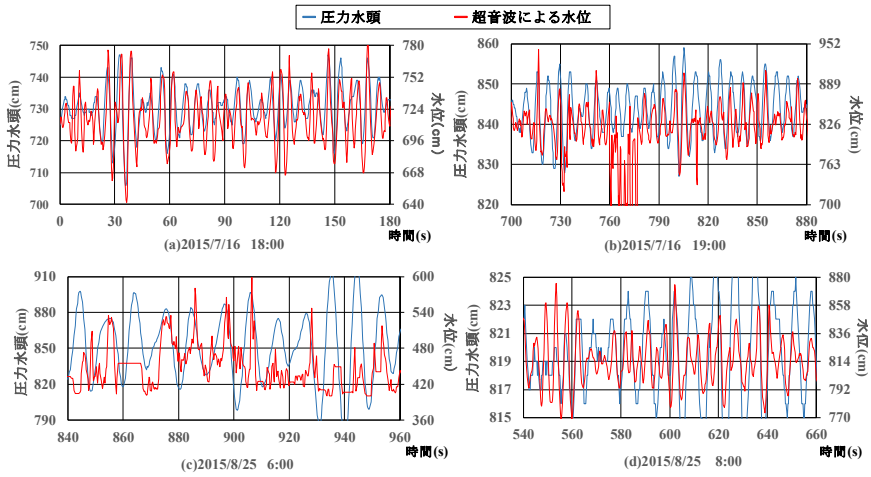

図 3　超音波式波高計による水位と底層の圧力水頭の瞬時値の時系列（凡例は共通）

次に 8 月 25 日のイベントについて検討する．図 2 から分かるように，8 月 25 日の 6 時と 8 時の濁度はそれぞれ 532ppm，233ppm であり，前述の 7 月 16 日と比較してもこのイベントの濁度や波高は顕著に大きい．まず 6 時に関して，図 2 より $WL, H_{1/3}, T_{1/3}$ はそれぞれ 8.32m, 2.01m, 5.9s で，ADP による底層平均流速は 0.30m/s, 電磁流速計による水平流速の k は 5.5cm^2/s^2 である．図 3(c) の超音波による水位と圧力水頭の 2 つの時系列の違いを見ると，圧力水頭は滑らかで一般的な（正弦的）波形を示しているものの，超音波では図 3(b) と同様に波形が明らかに崩れている．この時期の台風来襲も考慮すると，この時間帯では砕波が起きているものと考えられる．一方，8 時の WL，$H_{1/3}$，$T_{1/3}$，平均流速，k はそれぞれ 8.01m, 0.44m, 3.8s, 0.23m/s, 0.95 cm^2/s^2 である．図 3(d) からこの時間の瞬時値の応答を見ると，6 時の図 3(c) とは異なり，超音波と水圧がほぼ同様な応答を示している．また，図 4(c) の $F_s(f)$には発達した風波を意味する−4 乗の領域が見られないのに対し，図 4(d) では $F_s(f)$の高周波側に−4 乗の傾きの領域が見られると共に，$F_p(f)$および $F_e(f)$と同じ f =0.19Hz にピークが認められ，風波が発達していることが分かる．以上より，8 時の時点で砕波は生じていないものと考えられる．従って，8 時の濁度が 233ppm と 6 時の 532ppm よりも顕著に低下している点には，WL と底層平均流速がそれ程変化していないことを踏まえると，台風通過後の波高の減衰に伴って砕波が見られなくなっていること，および関連する乱れの減衰が影響している可能性が考えられる．

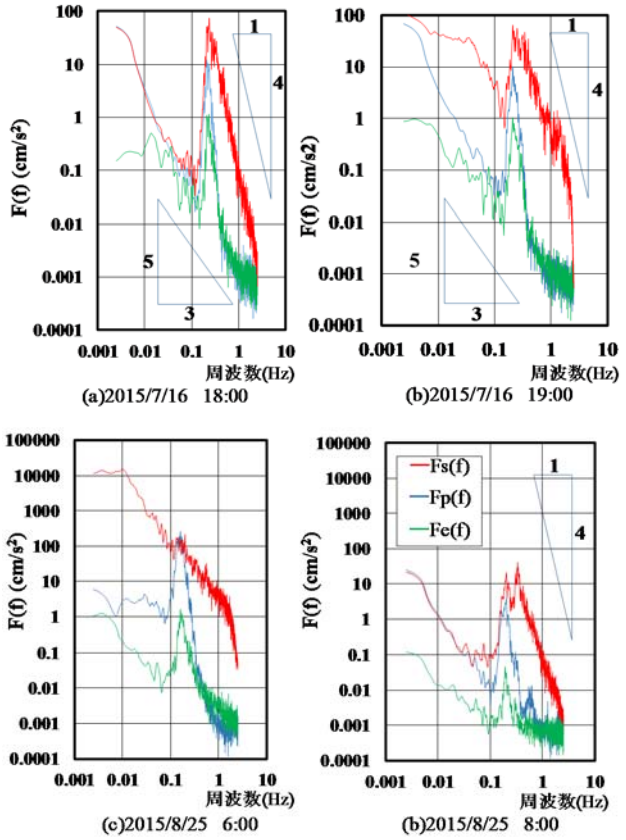

図 4　周波数スペクトル（凡例は共通）

4. まとめ

有明海諫早湾内の浅海域の懸濁物質の挙動に影響を与える物理現象を把握するために，濁度の大きいイベントについて詳細な検討を行った．その結果，底面付近の濁度には風波が著しく影響していることが改めて示されるとともに，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唆された．これより，内湾浅海域の土砂動態の評価・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あるものと考えられる．

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.

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．ここに記して深甚なる謝意を表します．