

連続採水による現地砕波帯浮遊砂濃度 および粒度分布の時系列変化

片山裕之*・岡安章夫**・永田達也***

1. はじめに

砕波帯内では砕波による乱れにより底質が浮遊する。しかし浮遊した底質とともに気泡や細粒分が存在するため、従来の光学式濃度計を用いて測定する場合には、気泡やシルトによるバックグラウンドの影響を補正するなどの工夫が必要である(例えば佐藤ら, 1989)。また笠井ら(1999)は、濃度計による測定では気泡のみならず浮遊砂の粒径、色も出力に影響するとしている。このような濃度計の出力を補正する方法として、濃度計による計測と同時に一定時間の採水により平均濃度を計測し、浮遊砂濃度の平均値と比較の上、これを補正することがある(例えば清水ら, 1996)。しかしながら、この方法では濃度計の感度の較正ができず、また実際にはこれらの影響も時々刻々変化するため、信頼性の高い濃度データを取得することはできない。これらの問題を解決するためには、対象となる現象において、濃度の変動時間よりも短い時間内の海水サンプリングを複数行う必要がある。

また、現地の底質は一般に混合粒径であり、混合粒径条件下での海浜変形の研究の重要性が指摘されている。しかしながら、混合粒径における底質移動機構については未解明な部分が多い。最近では混合粒径による底質の分級機構を解明しようとする研究(例えば山本ら, 1998)も行われており、浮遊砂に含まれる粒径特性も底質移動のメカニズムを明らかにする上で重要である。

そこで本研究では、現地観測において浮遊砂濃度の時系列データを毎秒の連続採水により取得し、濃度計による浮遊砂濃度の検定を行った。また採取した浮遊砂の連続試料より、浮遊砂中に含まれる底質の粒度組成や平均粒径の時系列的な変化を調べることを目的とした。

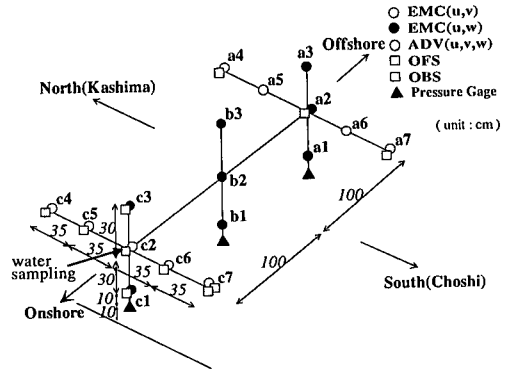


図-1 計測器アレイ

2. 現地観測の概要

(1) 合同現地観測プロジェクト HORS98 砕波帯内観測グループの概要

観測は、合同現地観測プロジェクト HORS98 の一部として、1998年9月12~13日にかけて茨城県波崎町の運輸省港湾技術研究所波崎海洋観測施設(HORS)にて行った。砕波帯内の三次元流速変動と浮遊砂の観測を目的とし、足場用単管パイプをフレームにして作成した計測器アレイ(図-1)に電磁流速計(EMC)16台、超音波ドップラ3次元流速計(ADV)1台、光学式透過型濃度計(OFS)3台、光学式後方散乱型濃度計(OBS)8台、圧力計3台を取り付け、水深約1mの位置に設置し同期計測を行った。データはサンプリング周波数20Hzで収録し、1時間の計測を計8回行った。また、棧橋上に設置した超音波波高計のデータも同時に記録した。なお、観測期間中の波浪は比較的穏やかで、有義波高0.5~0.9(m)、有義波周期6~9(s)であった。

(2) 連続採水の概要

図-1に示した計測器アレイの一部(c2の位置)に連続採水用のパイプを底面から約60cm(設置時)の位置に設置し、同じ位置においてADV、OBSによる計測も行った。ポンプにより海中に設置したステンレス製の採水パイプ(内径2.5cm)から採水ホースを経て海面上約7m

* 正会員 工修 横浜国立大学助手 大学院工学研究科人工環境システム学専攻
 ** 正会員 工博 横浜国立大学助教授 大学院工学研究科人工環境システム学専攻
 *** 元横浜国立大学学生 工学部建設学科

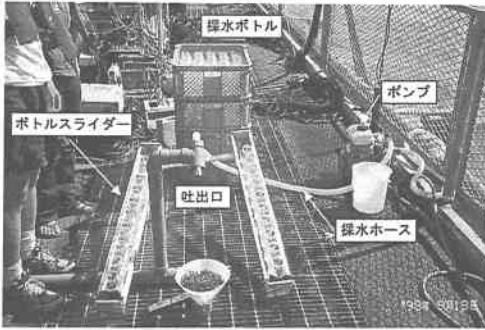


写真-1 連続採水システム

の棧橋上まで海水を汲み上げ採水を行った。計測においては、毎秒1回で連続300秒の採水を3回(Case-1, 2, 3)、計900秒分(900サンプル)の海水を採取した。採水パイプから吐出口までの流路長は11mで、採水時のタイムラグは5.2(s)である。本観測で行った採水システムでは、ボトル供給用スライダにボトルを供給する作業、吐出口から容量500mlの採水ボトルに海水を入れる作業、ボトルに蓋をする作業、ケースにまとめる作業を分担し行った(写真-1)。採水に用いたポンプの能力は毎秒2.5リットルであるが、実際の採水時には毎秒1.1リットル、ホース内の流速は2.1(m/s)であった。HORS周辺の底質の粒径が0.2mm程度であるので、沈降速度0.03m/sに対して十分な管内流速であると考えられる。なお各ボトル内の海水サンプルは400ml程度であった。

3. 浮遊砂濃度変化と濃度計の補正

(1) 連続採水による浮遊砂濃度

連続採水により採取した海水の重量とそれに含まれる底質の乾燥重量から浮遊砂濃度の時系列データを算出した。その結果を図-2に示す。今回の採水では1500ppm程度の低濃度時の浮遊砂しか計測できなかった。しかしながら、サンプリング間隔1秒の採水でも、浮遊砂濃度の変化の様子を十分捕らえられることが図から分かる。図中、Case-2の途中で(採水開始後60秒近辺)海水中の浮遊物(ビニール片)を吸い込んでしまったため、ポンプの吸水能力が流速にして0.5(m/s)程度に低下してしまった。従って、Case-2の後半およびCase-3の計測については、ポンプ内での底質の混合等も考えられるため、データの信頼性が低い。そこで、以降の検討では比較的信頼性の高いCase-1のデータを用いることにする。

(2) 採水データによる濃度計の検定

図-3は、Case-1の時間帯における濃度計(OBS)による浮遊砂濃度の値と採水によるものとの比較を行ったものである。OBSによる濃度値は出力電圧に現地砂による従来型のキャリブレーション曲線をあてはめて算出し

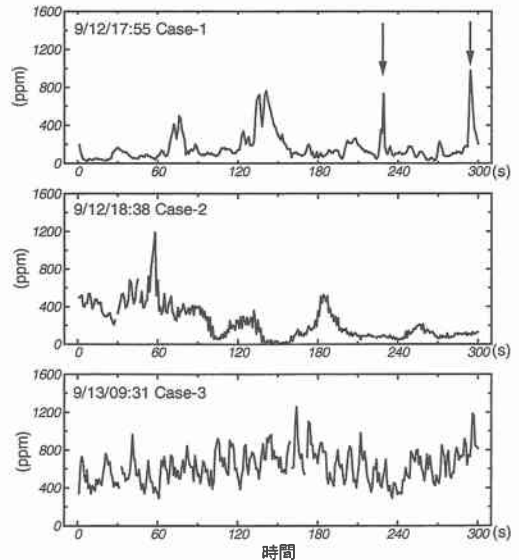


図-2 採水による浮遊砂濃度

た。ここで、両者はサンプリング間隔が異なるため、20Hzで収録した濃度計のデータを1秒毎の平均値としてリサンプリングしてから比較を行った。また採水と流速計や濃度計の計測器群とは同期していないため、両濃度データを用いた最小2乗法による相関の高い位相を同位相としている。図中、太実線が採水による値、点線がOBSによる値である。図より、今回の観測では1500ppm程度までの低濃度帯ではあるが、毎秒の採水と濃度計による浮遊砂の濃度変化との間でほぼ同様な濃度変化が得られることが分かった。

また、採水において極めて低濃度の時にも濃度計には200ppm程度の有意な出力が見られた。これは濃度の絶対値としてはさほど大きくないものの、浮遊による底質移動を考える際には積分値として無視できない値である。このバックグラウンドは気泡あるいは海水中の細粒子やプランクトンなどの含有物による影響ではないかと

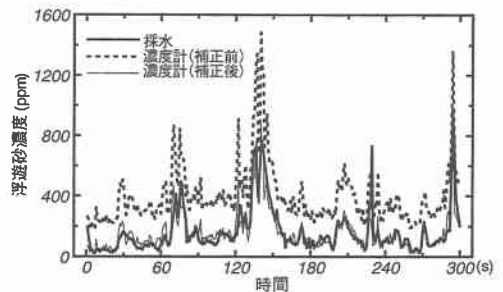


図-3 採水と濃度計による浮遊砂濃度の比較

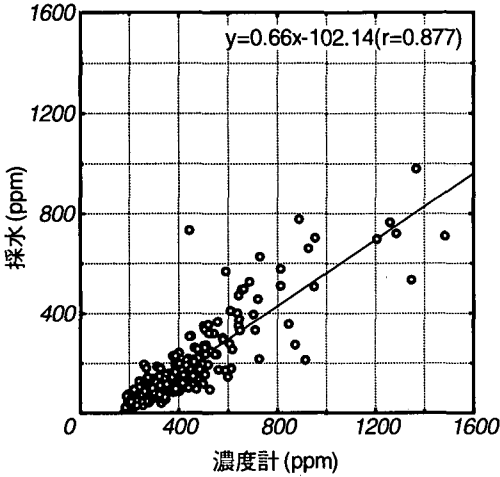


図-4 採水と濃度計による浮遊砂濃度の相関

考えられる。

OBSによる濃度値を採水による値によって補正するため、OBS濃度値と採水濃度値による回帰分析を行った。図-4が回帰分析の結果と、これによる1次回帰直線である。図-3にはこのOBS検定直線を用いた補正後の濃度(細実線)も同時に示した。従来の平均値のみを確認する採水では、平均値のシフト分のみしか補正できないが、連続的に得られた採水データにより濃度計の感度の補正も行え、バックグラウンドの影響を適切に除去でき、あわせて感度の補正も適切に行えることが分かった。

4. 浮遊砂の粒度分布の時系列変化

次に、採取した海水中に含まれる底質の粒度組成および平均粒径について、レーザー回折式粒度測定装置を用いて分析を行った。分析は、Case-1の中の浮遊砂濃度が極大となる時間のうち230秒付近および300秒付近(図-2中の矢印位置)を中心に行った。

まず分析に先立ち、それぞれ平均粒径の異なる濾過砂(平均粒径0.2mm)と相馬粗砂(平均粒径0.7mm)を試料に用いて粒度分析を行い、装置の測定レンジおよび測定精度を確認した(図-5)。その結果、濾過砂については50mg~1200mgの試料において体積百分率の分布やそのピーク位置が変わらないことが分かる。しかし粒径の粗い相馬粗砂では測定誤差が見られ、おおよそ0.4mm程度の粒径まで測定可能であると判断された。個々のサンプルにおいては、その平均粒径が0.4mm程度となることが分かったが、今回採取した底質の平均粒径はおおよそ0.2mm程度のため、この装置を用いて粒度分析を行うことに問題はないと考えられる。

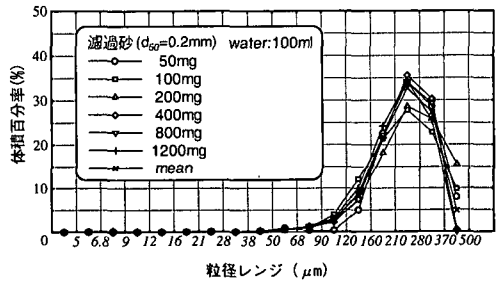
図-5に表わしたように、この装置は設定した粒径レ

ンジ毎に含まれる底質の体積百分率が表示されるものである。従ってそれぞれの粒径における底質の比重が同じであると仮定すれば、体積組成割合に全体の浮遊砂濃度を乗じることで各粒径レンジの濃度を算出することができる。このようにして得られた粒径別濃度および関連するその他の値を図-6(a),(b)に示す。図中上段より採水による浮遊砂濃度(ppm)、粒度組成割合(%),各粒径の浮遊砂濃度(ppm)、平均粒径 d_{50} (mm)、計測アレイに最も近い桟橋上に設置した波高計による水位変動 η (m)、ADVによる3次元流速変動(m/s)(u :岸冲方向成分,岸向き正, v :沿岸方向成分,鉦子向き正, w :鉛直方向成分,鉛直上向き正)である。

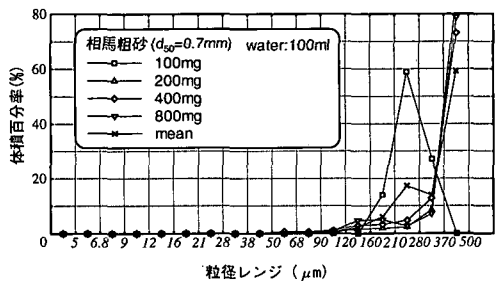
おおよそこれを見ると、HORS周辺の底質の中央粒径が0.2mmであるのに対してサンプル中の底質には0~0.4mm程度の粒径分布が見られ、浮遊砂中に含まれる底質の粒径は混合粒径であることが認められる。浮遊砂の総濃度と粒径別濃度を比較すると、濃度の高い時に粗粒分の割合が減少し細粒分の割合が増加しており、平均粒径についても濃度が高くなると小さくなっている。

5. 浮遊砂濃度と流速との関係

灘岡ら(1987)は、砕波による鉛直方向の軸を持つ大規模な渦(斜行渦)がレイノルズ応力の生成や底質の巻き上げに重要な役割を果たしていることを示し、特に浮



(a) 濾過砂 (平均粒径 0.2 mm)



(b) 相馬粗砂 (平均粒径 0.7 mm)

図-5 粒径の違いによる粒度分析結果の比較

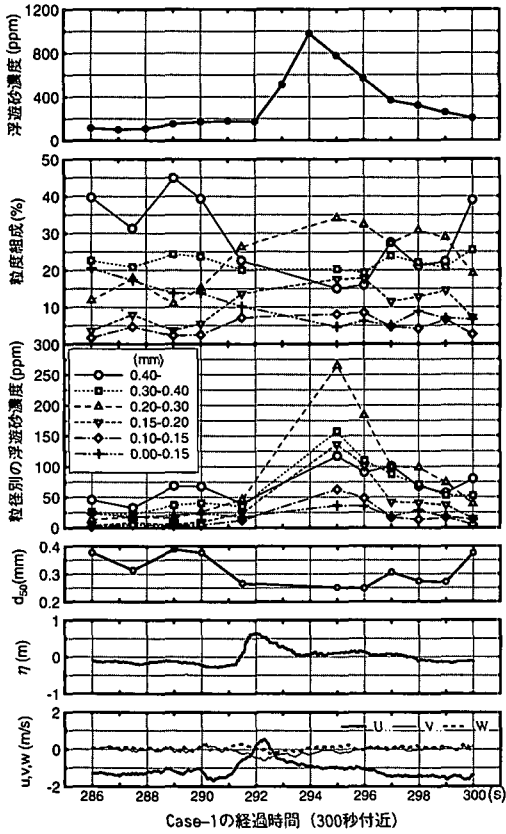


図-6(a) 浮遊砂の粒度組成および水位・流速変動

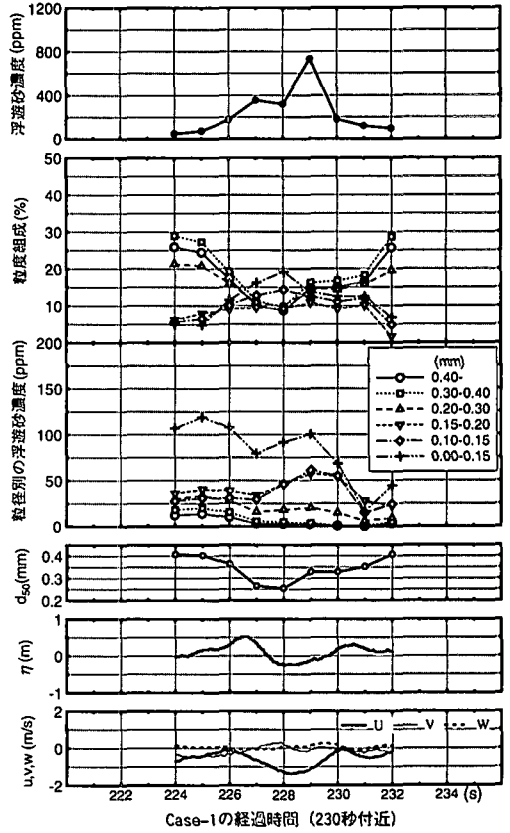


図-6(b) 浮遊砂の粒度組成および水位・流速変動

遊砂濃度と鉛直流速との関連について議論している。本観測では、採水位置においてADVにより3次元流速を同時に計測しているため、底質の巻き上げと流速との関連を調べることが可能である。

図-7は、Case-1の300秒間での浮遊砂濃度と岸沖、沿岸2成分流速ベクトルの絶対値 $|u, v|$ 、岸沖、沿岸、鉛直3成分流速ベクトルの絶対値 $|u, v, w|$ および鉛直流速 w の経時変化の比較である。濃度はOBSによる値を図-4に示した関係を用いて補正したものである。これを見ると、流速ベクトルの絶対値、または鉛直流速と浮遊砂濃度には顕著な相関は見られない。

また図-6(a), (b)における流速と濃度の変化を比較しても、両者に強い相関は見られない。これらのことから、浮遊砂濃度の極大は、その場で巻き上げられた底質によるものではなく、他の場所で巻き上げられて移流してきた底質をとらえたものか、または少なくとも移流による浮遊砂が卓越した場合だと推測できる。

6. 主要な結論

毎秒1サンプルの高速連続採水により砕波帯の浮遊砂

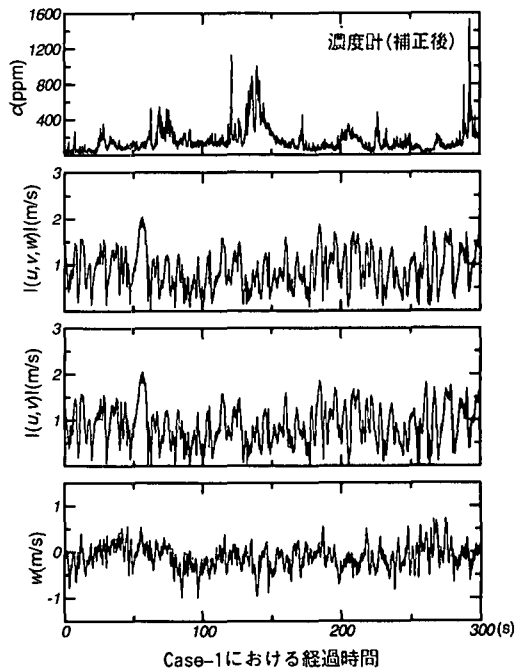


図-7 浮遊砂濃度と流速の経時変化 (Case-1)

濃度の現地観測を行った。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 現地での連続採水により信頼性の高い浮遊砂濃度の時系列データを取得した。またこれを用い、光学式濃度計の出力中の気泡等の影響を適切に補正することができる。
- 2) 得られた浮遊砂の試料より、粒度組成分布および平均粒径の時間変化を測定した。その結果、浮遊砂中の底質は混合粒径であり、粒度分布が時間的に変化することが分かった。
- 3) 浮遊砂濃度の極大は、少なくとも今回の観測においては、局所的な巻き上げによるものではなく主に移流によるものと考えられる。

今回の連続採水による浮遊砂の観測では、局所的な巻き上げでなく主に移流によるものしかとらえることができなかったと考えられる。しかしながら連続採水による浮遊砂の観測では、濃度だけでなく、採取した砂からその粒度組成まで調べることができ、底質移動のメカニズムを検討する上で非常に有用な情報が得られる。今後は、浮遊砂を巻き上げによるものと移流によるものとに分離し、局所的な底質の pick up について検討することを目指し、連続採水を平面的に拡張（平面多点同時採水）した観測を行う予定である。また、今回は低濃度時の浮遊砂しかとらえることしかできなかった。今後の観測では高濃度の浮遊砂の変動をとらえることがもう1つの課題である。

最後に、本観測の実施に当たり、HORS での観測に便宜を図って頂いた運輸省港湾技術研究所漂砂研究室長 栗山善昭氏、観測において協力いただいた東京工業大学 灘岡和夫教授をはじめとする合同現地観測プロジェクト (HORS98) 砕波帯内観測グループの皆様に謝意を表す。また、粒度分析では、五洋建設(株)技術研究所所有のレーザー回折式粒度分析装置を使用させて頂いた。

また、本研究の一部は文部省科学研究費補助金基盤研究 B (No. 11450187 代表者柴山知也) による研究であることを付記する。

参 考 文 献

- 笠井雅広・福島雅紀・佐藤慎司 (1999): 後方散乱式浮遊砂濃度計の基本特性について, 第 54 回年次学術講演会講演概要集 (印刷中).
- 清水隆夫・池野正明・岡安章夫・栗山善昭・佐藤慎司・島田広昭・清水琢三・武若聡・西隆一郎 (1996): 不規則波による大型海浜断面変形実験と外力場の多点同期計測, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 491-495.
- 佐藤慎司・本間基一・柴山知也 (1989): 砕波による底質の巻き上げ量の評価に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 279-283.
- 灘岡和夫・上野成三・五十嵐龍行 (1987): 砕波帯内の三次元的大規模渦構造と浮遊砂の現地観測, 第 34 回, 海岸工学講演会論文集, pp. 21-25.
- 山本幸次・張 達平・佐藤慎司・田中茂信 (1998): 海岸における底質の分級に関する研究, 土木研究所資料, 第 3592 号, 78 p.