

# 現地観測による砕波帯内の流れ構造および底質浮遊機構の解明

中 村 聡 志\*

## 1. はじめに

近年, 砕波帯内の流速場の構造に関する実験研究が急速に進んでおり, 大型二次元水槽を用いた砕波による乱れや大規模渦による底質の巻き上げおよび地形変化についての研究が精力的に行われている(例えば, 張ら, 1997)。また, 沿岸部で顕著となる数分程度の周期性を持つ長周期流れと地形変化に注目した研究もある(例えば, 柴山ら, 1992)。しかしながら, 現地海浜における漂砂現象, 特に不規則波の砕波による底質の浮遊機構と浮遊した底質の輸送機構については, 波・流れの場を測定する困難さ, 掃流砂および浮遊砂の濃度分布を測定する困難さがあり, 砕波帯内の流れ・乱れ構造と底質浮遊との関連を系統的に調べた研究は少ない(灘岡ら, 1987)。

本研究では, 現地砕波帯内に多数の流速計を設置し流れの三次元場を測定するとともに, 底面近傍, 中層および表層近傍に浮遊砂濃度計を空間的に配置し浮遊砂濃度に関する現地観測を行った。なお, 本研究は沿岸域の総合調査を目的とした合同現地観測プロジェクトの1つとして運輸省港湾技術研究所波崎海洋研究施設周辺で行った現地観測(HORS 98)の一部である。

## 2. 現地観測の概要

現地観測は, 茨城県鹿島灘に面する波崎海洋研究施設(HORS)において1998年9月10日から14日にかけておこなった。観測棧橋基点から海側へ67mの位置に, 電磁流速計17台および後方散乱式および透過式浮遊砂濃度計合わせて11台を取り付けたやぐら(約2m×2m×2m)を設置した(図-1)。なお, 現地観測では浮遊砂および流れの空間場を収録したが, 今回の解析では, 主に図-2に示す岸沖一鉛直面に設置した電磁流速計9台および浮遊砂濃度計2台のデータを解析に用いた。図中,  $u$  は岸向き正の水平流速,  $w$  は上向き正の鉛直流速, および  $c$  は浮遊砂濃度の観測点を示す。また, 観測棧橋上に取り付けられた9台の超音波式波高計も用いた。これら計測器出力の収録は棧橋上の仮設小屋内ですべての計

測器を同期し, 20 Hz のサンプリング間隔で1レコード約1時間の収録を行った。また, 観測棧橋に沿った断面地形測量, 砕波位置観測, 沿岸流観測を適宜行った。図-3に期間中およびその前後日のやぐら設置付近の有義波高( $H_{1/3}$ , m)を実線で, 有義波の周期( $T_{1/3}$ , s)を破線で, 潮位(DL+, m)を点線で, やぐら設置位置の地盤高(DL+, m)を■で, データ収録期間(Take 1~8)を○で示す。データ収録期間中の砕波の状況はやぐら設置位置の沖で二次砕波していた。

図-2中の底面に近い3つの流速計と1つの浮遊砂濃

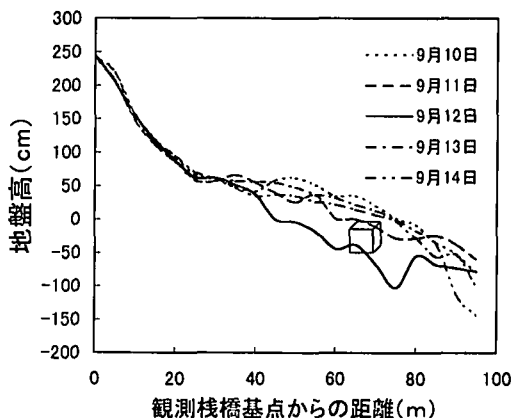


図-1 観測期間中の海底地形と計測器設置位置

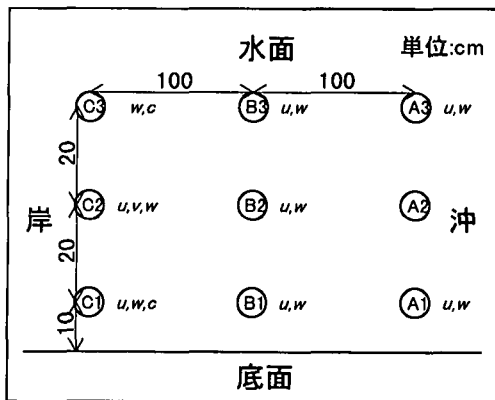


図-2 解析に使用したセンサー配置図

\* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所海洋環境部

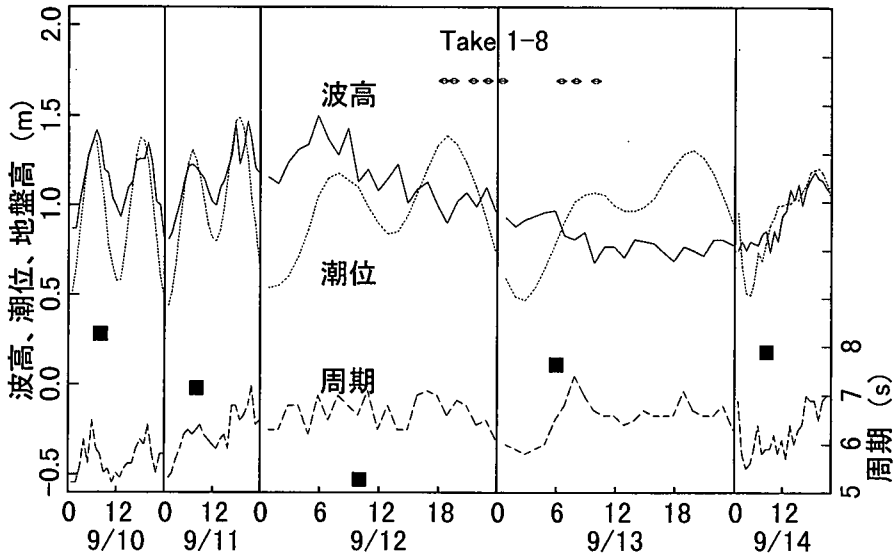


図-3 観測期間中の海象状況

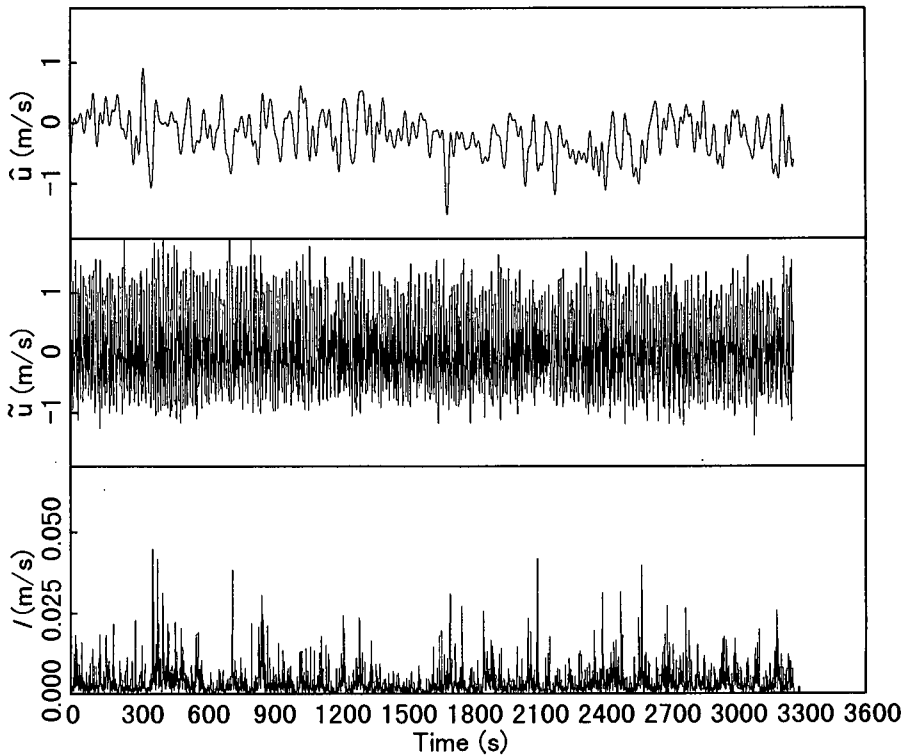


図-4 水平流速の長周期成分、風波成分および乱れ成分の時系列

度計は Take 5 以降砂の堆積によりセンサーが埋没してしまい欠測となったこと、また、水面に近い流速計についても潮位が低い時間帯で砕波による泡と干出によると思われるノイズが含まれていたことから、センサー位置が底面にもっとも近い状態にあり、浮遊砂の巻き上げを

瞬時に捕らえているのは Take 3 の記録と考え、以後この記録の解析を行った。

### 3. 流れと浮遊砂濃度の解析

観測された砕波帯内の流れの記録には、沿岸域で顕著

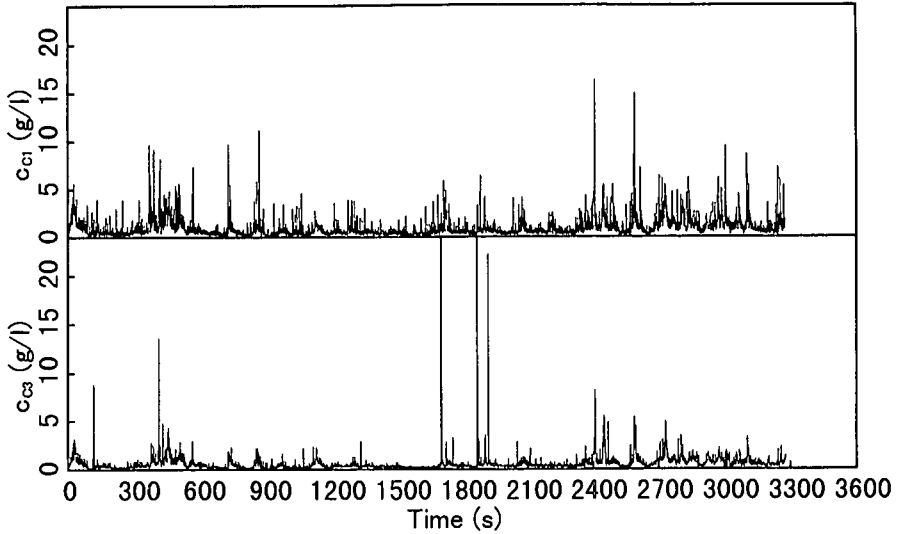


図-5 浮遊砂濃度の時系列

に現れる長周期波によると思われる数十秒周期の流れ、個々波の波による周期十秒程度の流れ、砕波による水塊の突っ込みやその後の混入気泡の上昇によると思われる周期数秒以下の流れなど広い周波数帯で流れが存在する。今回観測された流速データ（水平流速  $u$  および鉛直流速  $w$ ）はフーリエ変換と周波数フィルターを用いて、周波数が 0.04 Hz 以下の長周期成分 ( $\bar{u}, \bar{w}$ )、0.04 から 1 Hz の風波成分 ( $\tilde{u}, \tilde{w}$ )、1 Hz 以上の乱れ成分 ( $u', w'$ ) とに分離した。分割周波数については、周波数スペクトル分布の形状および勾配が変化している位置から求めた。乱れ成分については、直接 ( $u', w'$ ) を用いるのではなく、 $\sqrt{u'^2 + w'^2}$  で定義する乱れ強度  $I$  を用いた ( $\bar{\quad}$  は 1 s 間の移動平均を表す)。図-4 に測点 C1 での水平流速の長周期成分  $\bar{u}$ 、風波成分  $\tilde{u}$  および乱れ強度  $I$  の時系列を示す。長周期成分  $\bar{u}$  には 1 分程度の周期性のほか、15 分程度のピートを打っていることがわかる。また、時折強い沖向き流れ（特に強いものは 1600 s 付近）があることがわかる。風波成分  $\tilde{u}$  には砕波後の波による流れであるけれども、波群性を持ち、包絡振幅の増減は明確でないけれども周期性があるように思われる。

図-5 に測点 C1 および C3 での浮遊砂濃度の生記録を示す。底面に近い測点 C1 では、低濃度の浮遊砂が常にあり、その上にスパイク状の不規則な発生間隔の高濃度浮遊砂がしばしば記録されている。一方、水面に近い測点 C3 ではスパイク状の高濃度浮遊砂が観測されるけれども、その回数は測点 C1 に比べて少ない。このように現象が離散的であることから、浮遊砂濃度  $c$  については、フーリエ変換を使った周波数分割や移動平均などの処理は行わず、生の記録を用いて解析を行った。図-6 に測点

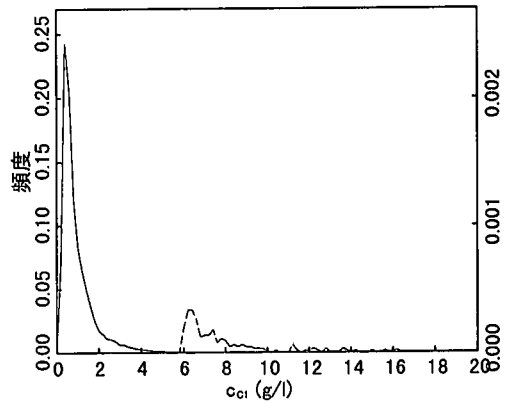


図-6 浮遊砂濃度の頻度分布

C1 での浮遊砂濃度の頻度分布を示す (6 g/l 以上については縮尺を 100 倍にしてある)。浮遊砂濃度は 0.5 g/l を最頻値として高濃度は極端に少なくなる分布型をしている。そこで底質が巻き上がっている状態として測点 C1 での浮遊砂濃度  $c$  がしきい値 6 g/l を超える事象を抽出し、高濃度の浮遊砂発生時前後における長周期成分の流れ、風波成分の流れおよび乱れ強度  $I$  の構造を調べた。

#### 4. 底質の巻き上げ機構

図-7 にしきい値を超える事象の一例を示す。高濃度の浮遊砂が現れる前後 5 s 間の測点 C1, C3 の浮遊砂濃度の時系列 (上段) と測点 C1 における流速  $\bar{u}$ 、 $\tilde{u}$  および  $\bar{w}$  の時系列 (中段) および測点 C1, C2, B1 における乱れ強度  $I$  の時系列 (下段) を示す。

風波成分による水平流速  $\tilde{u}$  の位相と測点 C1 の濃度  $c$

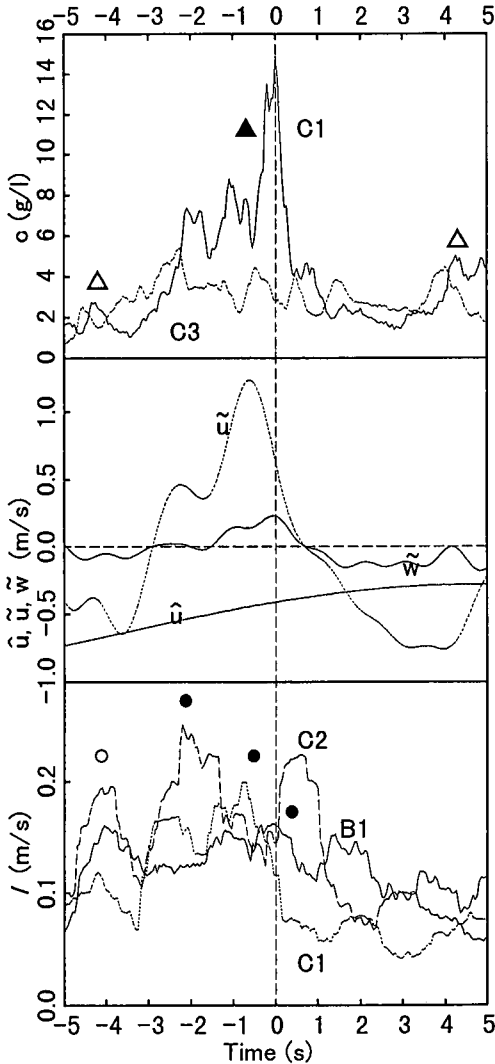


図-7 高濃度浮遊砂が現れる前後の流速, 乱れ

に現れる大小のピークの現れる時間を比較すると、風波の谷の位相 ( $\bar{u}$  が負) に現れる低濃度のピーク (図中 2 カ所の  $\Delta$ ) と、風波の峰近くの位相 ( $\bar{u}$  が正) に現れる高濃度のピーク (図中  $\blacktriangle$ ) があることがわかる。また、低濃度のピークについては若干の位相のずれがあるけれども測点 C3 にも同程度の濃度が記録されており、この浮遊砂が底面から水面近くまで一様なものであることがわかる。

低濃度のピークが現れる時には、水平流速は全体として強い沖向き (流速  $\bar{u}$  が負,  $\bar{u}$  も負) であり、観測地点より岸側で巻き上げられた浮遊砂が沖向き流れによって観測地点に移流されてきたものと考えられる。一方、高

濃度のピークが現れる時には流速  $\bar{u}$  が負,  $\bar{u}$  が正となっており、全体としての流れは 0 または弱い岸向きである。また、高濃度時の 3 つのピークに対応して上向き流速 ( $\bar{w}$  が正) が間欠的に発生している。このことから高濃度のピークは測点 C1 の極近傍で底質が巻き上げられたと考えられる。高濃度時に対応する上向き流速は風波による流速よりスケールが小さく、砕波の渦によるものと考えられるが、隣接する流速計を用いた渦度の計算では明瞭な結論は得られなかった。

高濃度ピークが現れる時の乱れ強度  $I$  の極大値 (図中  $\bullet$ ) についてその発生時刻を各測点で比較すると、測点 C2 では濃度のピークより 2 s 前 ( $t = -2.0$  s), 測点 C1 では 1 s 前 ( $t = -1.0$  s), 測点 B1 では同時 ( $t = 0.0$  s) と強い乱れが水面近くから底面へ到達し、沖向きに移動しているようである。高濃度時の流れの状況も含めて、高濃度発生時の底質の浮遊機構は砕波帯内の広い範囲で生じる沖向きの流速  $\bar{u}$  と波の通過に伴う局所的な岸向き流速  $\bar{u}$  がぶつかり合う (砕波する) ことによって乱れを伴った渦が水面近くに不規則に発生し、それが底面へ接近することによって、底質または底面近くの高濃度浮遊砂を巻き上げているものと考えられる。一方、低濃度のピークが現れる時の乱れ強度  $I$  の極大値 (図中  $\circ$ ) は測点 C1, C2, B1 でほぼ同時に起きていることから低濃度時の乱れは浮遊砂と共に移流されてくるものと考えられる。

### 5. おわりに

浮遊砂濃度観測位置以外の場所で巻き上げられた底質および乱れが長周期の流れによって移流されており、高濃度浮遊砂の発生時には、長周期沖向き流れと波の通過に伴う局所的な岸向き流れとが衝突する最に発生する乱れが底面近くに到達することによって、底質または底面近くの掃流状態で沖向きに流れている高濃度の浮遊砂が巻き上げられていると考えられる。また、高濃度浮遊砂発生時に、底面近くで波のスケールより小さい上向き流れが間欠的に観測されることから、乱れの原因として砕波時に発生する渦が考えられる。

### 参考文献

柴山知也・柏木幹雄・岡安章夫 (1992): 砕波帯内長周期波の漂砂量への効果, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 316-320.  
 張 達平・佐藤慎司・山本幸次・田中茂信 (1997): 不規則波による浮遊砂輸送とバー地形の発達に関する大型実験, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 481-485.  
 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, 海岸工学論文集, 第 34 巻, pp. 21-25.