

砕波帯における浮遊砂濃度に関する二、三の観測例

柿沼忠男*・伊福 誠**・栗原 薫***

1. ま え が き

海岸における漂砂輸送の大部分は水理特性が極めて複雑な砕波帯内で生じている。こうした砕波帯内における漂砂に関する研究はそのほとんどが水槽実験によるものである。現地観測は莫大な費用や労力を要し、荒天時の観測は測器使用ともあいまって極めて困難であるからである。

従来、現地観測においてポンプ式採水、sand trap などにより浮遊砂を捕砂して浮遊砂濃度の特性が調べられてきたが、底質が波によって誘起される流れによって浮遊されることを考えれば、より精度の良い測定法が必要となる。

本研究は砕波帯における底質の浮遊機構を解明する手始めとして流速、圧力変動および浮遊砂濃度の観測を実施し、砕波帯における浮遊砂濃度に関する基礎的資料を得ようとするものである。

2. 観測資料とデータ解析

(1) 観測方法

愛媛県海津寺海岸の平均水深 2.0 m および 1.7 m の地点で、1983 年と 1984 年の冬期季節風時に 2 成分が測定可能な電磁誘導型流速計 MODEL 551 (MARSH McBIRNEY 社製) 3 台 (内 1 台圧力計 MODEL 205-2, Setra Systems 社製、内蔵) と散乱光式濁度計 MA-101 RD (北斗理研(株)製) 1 台によって流速、圧力変動および浮遊砂濃度の記録を得た。図-1 は観測地点を底質の採取地点とともに示したもので、観測地点付近の平均海勾配は兩年ともほぼ 0.01 であった。

1983 年 (Station I)

電磁誘導型流速計は図-2 のように架台に取り付けコンクリート製ブロック 8 個で海底に固定した。流速計のセンサは海底から 7, 65, 98 cm の高さにあり岸沖-沿岸方向流速を測定し、濁度計は海底より 4 cm、圧力計は海底より 72 cm の高さにある。

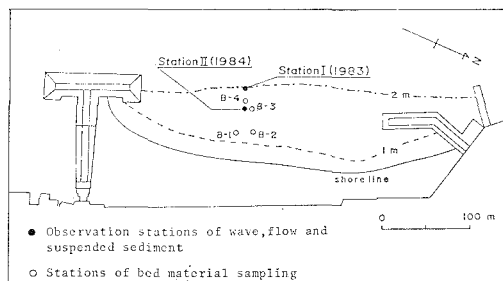


図-1 観測地点

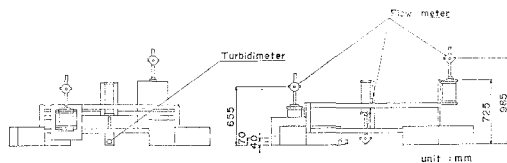
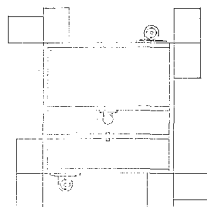


図-2 流速計、濁度計の取付方法 (1893)

1984 年 (Station II)

電磁誘導型流速計は架台に取り付けコンクリート製ブロックで海底に固定した。流速計のセンサは海底より 30, 45, 75 cm の高さにあり岸沖-鉛直方向、岸沖-沿岸方向、岸沖-沿岸方向の流速を測定し、濁度計は海底より 34 cm、圧力計は 49 cm の高さにある。

(2) データ解析

流速、圧力変動、浮遊砂濃度の 15 分間の記録をサンプリング間隔 0.2 sec で AD 変換し、流速、圧力変動の 1 波ごとの解析はゼロ・アップ・クロス法で行った。

まず、有義波高、有義波周期、時間平均流向・流速や方向ベクトルとともに、流速と浮遊砂濃度のパワースペクトル、クロススペクトル、物理スペクトルを算出してその相互関係を調べた。次に、流速と浮遊砂濃度の記録から浮遊漂砂量を算出した。最後に、高周波数成分分離

* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部海洋工学教室

** 正会員 工修 愛媛大学講師 工学部海洋工学教室

*** 正会員 工修 日立造船株式会社

法によって流速と浮遊砂濃度の高周波数成分を抽出し、その関係を調べた。

(3) 底質と有義波

表-1は図-1に示す底質採取点 B-1~4 における底質の粒度分布を示したものであり、1983年11月に B-1, 2, 1984年1月に B-3, 4 で採取したが、こうした地点の底質の中央粒径は 0.18 mm 程度である。

有義波高および有義波周期は、1983年と1984年において 0.41~0.53 m, 4.4~4.7 sec と 0.33~0.79 m, 4.4~5.3 sec であり、両年とも碎波型式はすべて spilling 型であった。

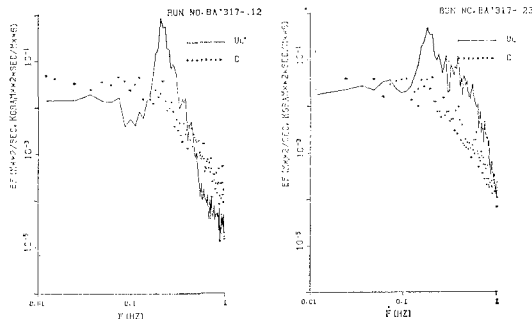
表-1 底質の粒度分布

底質資料 No.		B-1	B-2	B-3	B-4
中央粒径	d_{50} (mm)	0.20	0.18	0.18	0.18
	ϕ_{50} (ϕ -スケール)	2.30	2.49	2.46	2.46
標準偏差 σ_{ϕ} (ϕ -スケール)		-0.56	-0.60	-0.72	-0.74
均等係数 (d_{60}/d_{10})		1.8	2.0	1.8	1.8

4. 観測結果

(1) 浮遊砂濃度のパワースペクトル

浮遊砂濃度のパワースペクトルは風波のピーク周波数付近 (4 sec 程度) で若干のピークを示すものの低周波数領域 (15~60 sec) に大きなパワーを有し、その勾配は風波のピーク周波数より低周波側で周波数の $-0.5 \sim -1$ 乗, 高周波側で周波数の $-3 \sim -3.5$ 乗に比例する。この勾配は、岸沖方向流速や圧力変動が碎波の発生頻度が高いほどその勾配を小さくするのに対して、碎波の発生頻度に関係なく一定である。図-3は浮遊砂濃度と下部の岸沖方向のパワースペクトルを示したものであり、(a)は碎波の発生頻度が4%, (b)は20%である。

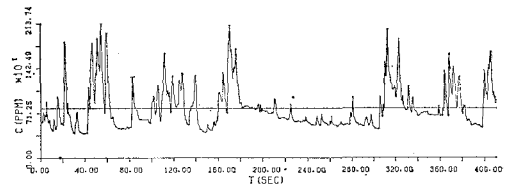


(a) 碎波の発生頻度 4% (b) 碎波の発生頻度 20%

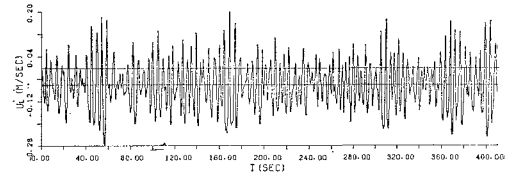
図-3 碎波帯における浮遊砂濃度, 岸沖方向流速のパワースペクトルの代表例

(2) 浮遊砂濃度と下部の岸沖方向流速

図-4は海底から4cmの高さでの浮遊砂濃度と7cmの高さでの岸沖方向流速の経時変化を平均値とともに示したものである。浮遊砂濃度は断続的に高い値を生じ、



(a) 浮遊砂濃度



(b) 岸沖方向流速

図-4 浮遊砂濃度と岸沖方向流速の経時変化

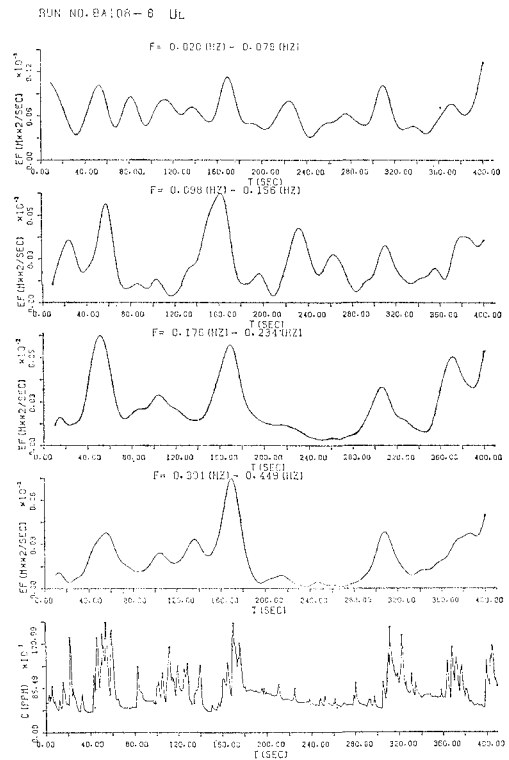
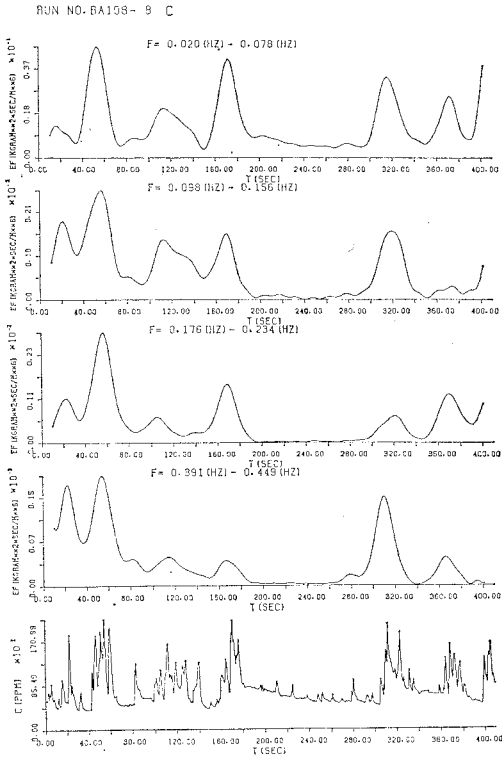


図-5 岸沖方向流速の物理スペクトルと浮遊砂濃度の経時変化

その時間間隔は 40~60 sec 程度である。

図-5は岸沖方向流速の物理スペクトルと浮遊砂濃度の経時変化を示したものである。物理スペクトルは上段より風波のピーク周波数の1/4周波数帯, 1/2周波数帯, 1倍周波数帯, 2倍周波数帯のものであるが, 風波のピーク周波数帯のエネルギー密度が最も大きく, 次が1/4周波数帯でその1/5程度, 他の周波数帯は1/10以下である。Brennikmeyer¹⁾やWright-Guza-Short²⁾は碎波帯



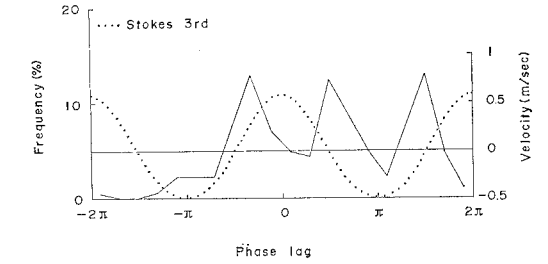
図—6 浮遊砂濃度の物理スペクトル

における浮遊砂濃度の観測記録から、浮遊砂濃度はうねりあるいは周期 30 sec 以上の長周期波やサーフ・ビートに関連することを示唆しているが、この観測における浮遊砂濃度の高い値が生じ、その時間間隔は 40~60 sec 程度であるという現象は岸沖方向流速の物理スペクトルによると低周波数領域の流速や風波のピーク周波数付近の流速に関連しているようである。

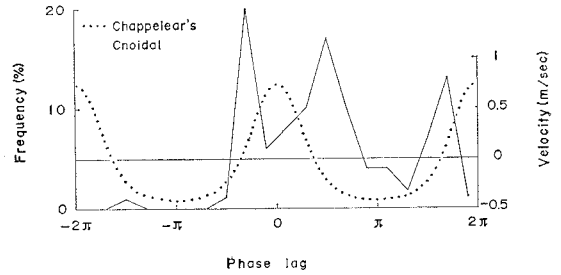
浮遊砂濃度の物理スペクトルをみると、エネルギー密度が最も大きい周波数帯は 1/4 周波数帯、次が風波のピーク周波数帯と 1/2 周波数帯でエネルギー密度は 1/4 周波数帯の 1/10 程度、2 倍周波数帯は 1/20 程度である (図—6)。

(4) 浮遊砂濃度の最高値の岸向き流速の最大値に対する位相差

1 波ごとに岸向き流速の最大値と浮遊砂濃度の最高値との位相差を見出して得た確率分布を 図—7 に示す。(a) は砕波の発生頻度が 9%、(b) は 24% のものであるが、図中には有義波高、有義波周期をもとに有限振幅波理論を用いて求めた岸沖方向の流速波形を点線で示してある。確率分布は、砕波の発生頻度が比較的低い (a) の場合と比較的高い (b) の場合の両者において $-(3/10)\pi$, $\pi/2$, $(3/2)\pi$ のところで高い値を示す。有限振幅波理論による流速波形と比較すると、砕波の発生頻度が低い場合には $\pi/2$, $(3/2)\pi$ は流向が沖から岸、岸か



(a) 砕波の発生頻度 9%



(b) 砕波の発生頻度 24%

図—7 浮遊砂濃度の最高値の岸向き流速の最大値に対する位相差の確率分布と流速波形

ら沖へ変わるところ、すなわち岸沖方向流速が 0 になるところであり、 $-(3/10)\pi$ は $\pi/5$ だけ遅い。砕波の発生頻度が高い場合にははすべて $\pi/10$ 程度遅いところになる。

(5) 浮遊漂砂量

図—8 は海底から 4 cm の高さで得た浮遊砂濃度と海底から 7 cm の高さで得た水平方向流速から算出した浮遊砂量のスキッタリング図を示したものである。(a) は砕波の発生頻度が 14%、(b) は 19% のものである。浮遊漂砂量は主方向 (方向スペクトルから算出した風波の卓越方向) とその反射方向に卓越し、砕波の発生頻度が高くなると反射方向に沿って沖向きに輸送される割合が大きくなる傾向がある。

(6) 浮遊砂濃度の頻度分布

浮遊砂濃度の頻度分布はガウス分布と比べると、平均値よりわずかに低いところで鋭いピークを生じ、正の裾で大きく、負の裾で小さい。

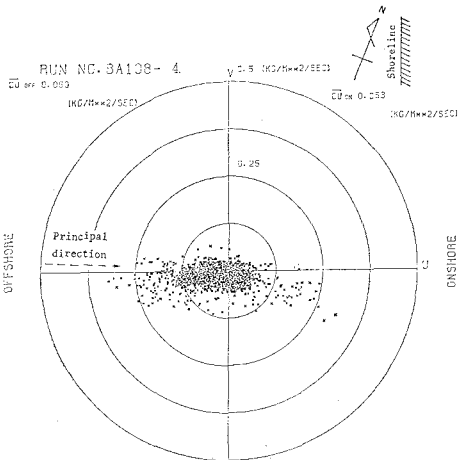
(7) 浮遊砂濃度の高周波数成分

著者らの方法によって浮遊砂濃度と流速の高周波数成分を抽出する³⁾。得た結果は次のようである。

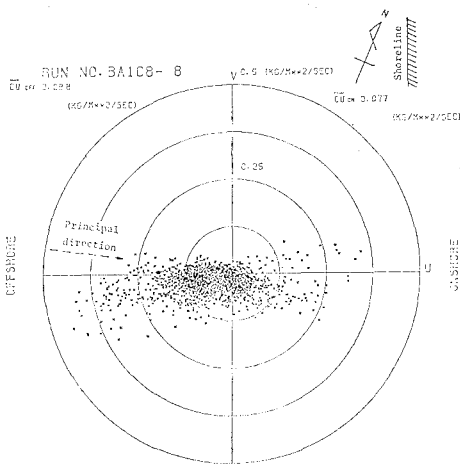
浮遊砂濃度の高周波数成分 c' (高周波数成分分離法における遮断周波数: 風波のスペクトルピーク周波数の 3 倍, 0.75 Hz 程度) のパワースペクトルは 0.75 Hz より高周波側において周波数のほぼ -3.5 乗に比例する。

浮遊砂濃度の高周波数成分の root mean square $\sqrt{c'^2}$ は時間平均浮遊砂濃度 $\bar{c}$ と正の相関がある (図—9)。

$[-c'u_L']$ (u_L' : 下部の岸沖方向流速の高周波数成分)



(a) 碎波の発生頻度 14%



(b) 碎波の発生頻度 19%

図-8 浮遊砂量のスカッタリング図

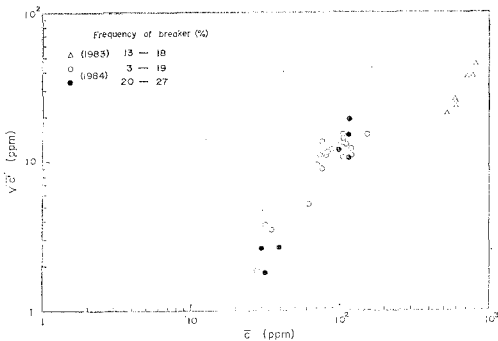
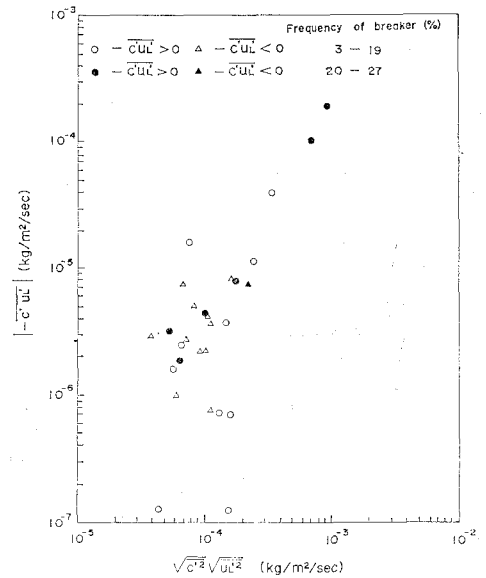
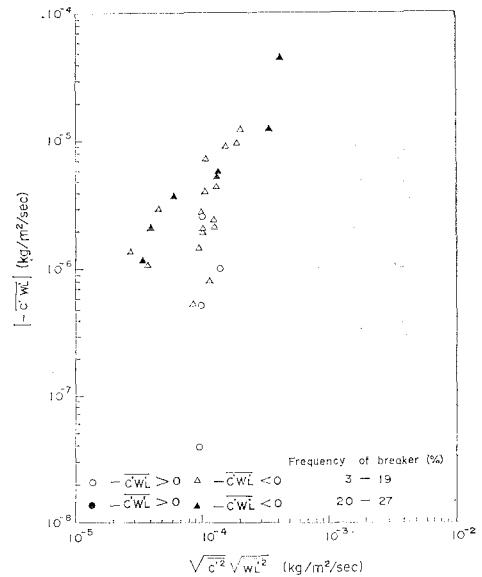


図-9 時間平均浮遊砂濃度と浮遊砂濃度の高周波数成分の root mean square

は $\sqrt{c'^2} \cdot \sqrt{u_L'^2}$ と正の相関がある (図-10)。

$|-c'w_L'|$ (w_L' : 下部の鉛直方向流速の高周波数成分) も $\sqrt{c'^2} \cdot \sqrt{w_L'^2}$ と正の相関があり, その大きさは $|-c'u_L'|$ の 1/10 程度である (図-11)。

図-10 $|-c'u_L'|$ と $\sqrt{c'^2} \cdot \sqrt{u_L'^2}$ との関係図-11 $|-c'w_L'|$ と $\sqrt{c'^2} \cdot \sqrt{w_L'^2}$ との関係

5. 結 語

以上, 著者らは愛媛県海津寺海岸の碎波帯において流速, 圧力変動および浮遊砂濃度の観測を実施して, 浮遊砂濃度のパワースペクトルの特性, 断続的に生ずる高い浮遊砂濃度, 浮遊砂濃度の確率分布, 浮遊砂量の方向分布や浮遊砂濃度の高周波数成分を碎波の発生頻度と関連させながら求めてきた。

しかし, 浮遊砂濃度と流速との間に存在する位相差の理論的解明とそれが碎波の発生頻度によってなぜ異なるのか, 浮遊砂濃度の高周波数成分の分離法が著者らが提

案した流速の高周波数成分分離法³⁾と同一で良いのか、 $|-c'w_L|$ と $|-c'u_L|$ の比が波浪や砕波状況によってどのような値をとるのか、などがこの研究に要求される今後の課題である。なかなか難しい問題であるが、こうした点を少しづつ解決して、現地砕波帯における浮遊砂濃度を調べていきたいと考えている。

なお、本研究における数値計算は愛媛大学情報処理センターの FACOM M-180 IIAD を使用した。

参 考 文 献

- 1) Brenninkmeyer, B. M.: Mode and period of sand transport in the surf zone, Proc. 14th Conf. Coastal Eng., pp. 812~827, 1974.
- 2) Wright, L. D., R. T. Guza and A. D. Short: Dynamics of a high-energy dissipative surf zone, Marine Geology, Vol. 45, pp. 41~61, 1982.
- 3) 柿沼忠男・伊福 誠・栗原 薫: 砕波帯における高周波成分の観測研究, 第 32 回海岸工学講演会論文集, pp. 204~208, 1985.