

# 砕波帯内長周期波の漂砂量への効果

柴山 知也\*・ 柏木 幹雄\*\*・ 岡 安章夫\*\*\*

## 1. はじめに

長周期波について様々な角度から検討が行われてきたが、その発生機構や地形変化へ与える影響など未だ不明な点が多く残されている。長周期波は汀線付近でその存在が顕著となることから、岸沖漂砂へ及ぼす影響も大きなものがあると考えられる。一方、岸沖漂砂に関する研究も波の不規則性を考慮した二次元移動床実験が行われるようになり、Shibayama・Horikawa (1985) による底質移動モデルのように個々の波による漂砂量の算定に立脚したモデルも作成されるようになった。しかし、汀線付近では予測精度が低下しており、その一因に長周期波の影響が挙げられる。

近年、不規則波浪場砕波帯での長周期波の漂砂量に及ぼす影響について研究が行われ始め、加藤ら (1989) の現地での観測、柴山ら (1990) の実験的研究、佐藤・光信 (1990) の数値的研究などが成果をあげているが、長周期波による局所漂砂量を定量的に評価できるまでには至っていない。そこで本研究では、長周期波が入射波に対して相対的に大きくなる汀線付近で、水位変動、底面流速、浮遊砂濃度および局所総漂砂量を室内実験により測定し、特に前者 3 つの位相関係に着目して、長周期波の漂砂に及ぼす影響を検討した。その際、浮遊した砂が長周期の速度変動によって運ばれることから浮遊砂の運動機構の解明を目指した。

## 2. 実験概要

### (1) 実験装置

実験には、長さ 17 m、幅 0.6 m、深さ 0.55 m の二次元造波水槽を用いた。この二次元造波水槽には片側に吸取式造波装置が装備しており、もう片側に勾配 1/40 あるいは 1/20 の固定床の斜面を作成し、その斜面の汀線に近い部分に漂砂量を測定するためのトレイを設置した。なおトレイは、長さ 3 m、幅 0.6 m、深さ 0.02 m とし、仕切り板で岸沖方向に 1 m 毎に 3 分割できるよ

うにした。トレイと斜面の継目には渦による底質の巻き上げを避けるために傾斜面を設けてある。仕切り板の挿入位置である岸よりと沖よりの 2 ケ所の断面をそれぞれ計測断面とし、汀線からこの計測断面までの距離を、勾配 1/40 では 2 m と 3 m、勾配 1/20 では 1 m と 2 m とし、断面での静水深が勾配 1/40 では 5 cm と 7.5 cm、勾配 1/20 では 5 cm と 10 cm となるように設定した。

一様水深部には容量式波高計を設置し、入射波の水位変動を測定した。トレイの計測断面には容量式波高計、超音波流速計および光学式濁度計を設置し、水位変動、底面流速、浮遊砂濃度を測定した。超音波式流速計及び光学式濁度計は実験前の底質を均した状態で底面より 5 mm のところに固定した。実験装置の概略図を 図-1 に示す。

### (2) 実験条件およびデータ解析手法

入射波として、Bretschneider・光易型のスペクトルをもつ不規則波を吸取式造波装置を用いて発生させた。局所漂砂量については、底質の乾燥質量を実験前にあらかじめ測定しておき、その底質を 3 分割したトレイに均して敷き詰めた。造波後に各部分毎に底質を回収し、乾燥質量を測定して実験前と比較することにより正味の総漂砂量を求めた。底質には、中央粒径 0.18 mm の豊浦砂を用いた。

実験はそれぞれの勾配で 8 ケースずつ行い、岸よりと沖よりの両断面について測定を行った。実験条件を表-1 に示す。

データはサンプリング周波数 50 Hz で、砂澱の形成が認められた後 18 分間デジタルレコーダーに記録し、AD 変換した後解析に用いた。解析にあたって、実験によって得られた水位変動  $\eta$ 、底面流速  $U$ 、浮遊砂濃度  $C$  のデータを次式に示すような定常成分  $\bar{\eta}$ ,  $\bar{U}$ ,  $\bar{C}$ 、長周期成分  $\eta_L$ ,  $U_L$ ,  $C_L$ 、短周期成分  $\eta_S$ ,  $U_S$ ,  $C_S$ 、乱れ成分  $\eta_T$ ,  $U_T$ ,  $C_T$  の和であると仮定した。

$$\eta = \bar{\eta} + \eta_L + \eta_S + \eta_T \cdots \cdots (1)$$

$$U = \bar{U} + U_L + U_S + U_T \cdots \cdots (2)$$

$$C = \bar{C} + C_L + C_S + C_T \cdots \cdots (3)$$

定常成分は時系列データを時間平均して求めた。ま

\* 正 会 員 工 博 横浜国立大学助教授 工学部建設学科

\*\* 学生会員 横浜国立大学大学院 工学研究科

\*\*\* 正 会 員 工 博 横浜国立大学助手 工学部建設学科

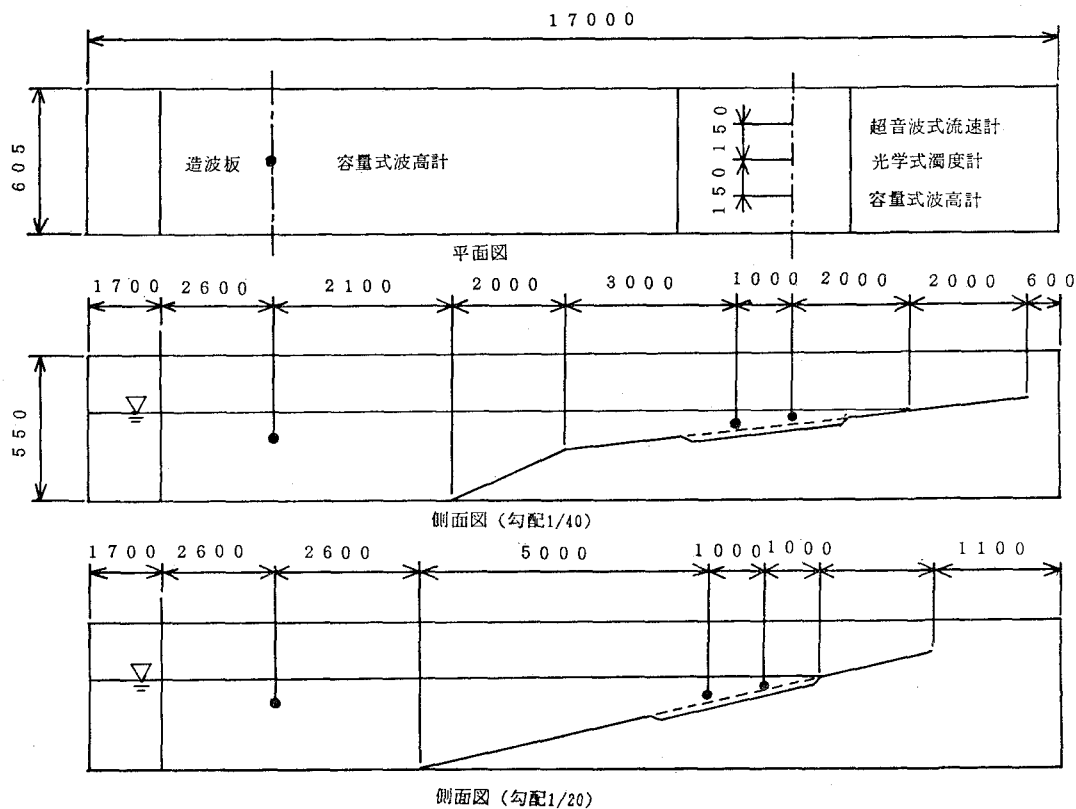


図-1 実験装置の概略 (単位: mm)

表-1 実験条件

| CASE | 底質粒径<br>$d_{50}$ (mm) | 静水深<br>$h$ (cm) | 底面勾配<br>$\tan\beta$ | 有義波            |               | 平均波            |               |
|------|-----------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
|      |                       |                 |                     | $H_{1/3}$ (cm) | $T_{1/3}$ (s) | $H_{1/3}$ (cm) | $T_{1/3}$ (s) |
| A-1  | 0.18                  | 35.0            | 1/40                | 8.2            | 1.0           | 5.3            | 0.9           |
| -2   |                       |                 |                     | 4.9            | 0.8           | 3.9            | 0.7           |
| -3   |                       |                 |                     | 6.9            | 0.9           | 4.5            | 0.8           |
| -4   |                       |                 |                     | 10.0           | 1.0           | 6.6            | 0.9           |
| -5   |                       |                 |                     | 9.5            | 1.2           | 6.1            | 1.0           |
| -6   |                       |                 |                     | 6.6            | 1.2           | 4.2            | 1.0           |
| -7   |                       |                 |                     | 10.7           | 1.3           | 7.0            | 1.2           |
| -8   |                       |                 |                     | 8.9            | 1.3           | 5.7            | 1.1           |
| B-1  | 0.18                  | 35.0            | 1/20                | 8.1            | 1.0           | 5.3            | 0.9           |
| -2   |                       |                 |                     | 5.2            | 0.9           | 3.3            | 0.8           |
| -3   |                       |                 |                     | 8.1            | 1.0           | 5.3            | 0.9           |
| -4   |                       |                 |                     | 6.6            | 1.0           | 4.2            | 0.9           |
| -5   |                       |                 |                     | 9.5            | 1.2           | 6.1            | 1.0           |
| -6   |                       |                 |                     | 4.8            | 1.4           | 2.9            | 1.0           |
| -7   |                       |                 |                     | 10.6           | 1.3           | 6.8            | 1.1           |
| -8   |                       |                 |                     | 6.8            | 1.3           | 4.4            | 1.2           |

た、長周期成分は周波数 0.25 Hz 以下、短周期成分は周波数 0.25 Hz から 5 Hz まで、乱れ成分は周波数 5 Hz 以上と定義し、数値フィルターを用い各々の時系列データを長周期成分、短周期成分、および乱れ成分に分

離した。例として底面流速  $U$  について各成分毎に分離したものを図-2 に示す。上より、底面流速  $U$ 、長周期成分  $U_L$ 、短周期成分  $U_S$ 、乱れ成分  $U_T$  の時系列データを示している。また、有義波などは各成分毎の時系

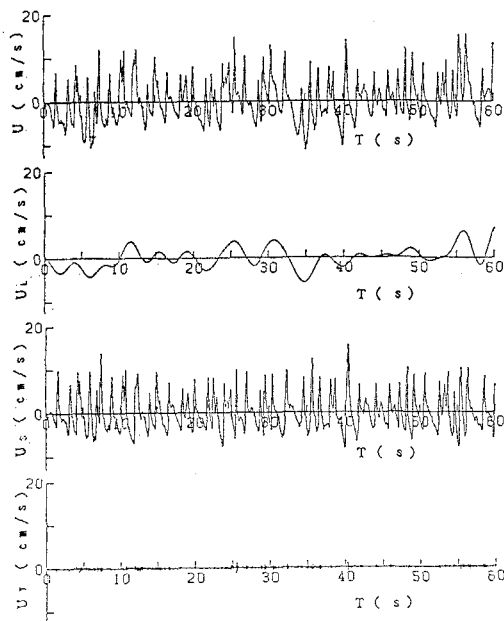


図-2 成分毎の分離の例

列データから zero-down cross 法で個々の波を定義し、解析したものをを用いた。濁度については、あらかじめ検定を行い浮遊砂濃度に換算して解析に用いたが、実験が長時間に渡る場合、出力の零点が若干変動するため、各ケース毎に零点補正を行った。

### 3. 実験結果及び考察

底面定常流速  $\bar{U}$  と正味の漂砂量  $q_{net}$  の関係を表したものを 図-3 に示す。正味の漂砂量  $q_{net}$  は単位幅単位時間当たりの量で示してあり、 $q_{net} \times 10^{-3} \text{ (g/cm/s)}$  で表してある。正は岸向き漂砂を、負は沖向き漂砂を示す。また、底面定常流速  $\bar{U}$  は正が岸向き底面定常流速を、負が沖向き底面定常流速を示している。

この図から、勾配 1/40 については、沖側、岸側の計測断面とも底面定常流速があまり変化しないにもかかわらず正味の漂砂量  $q_{net}$  が大きくばらついていることがわかる。一方、勾配 1/20 については、底面定常流速が沖向きに増加するにつれて、岸側の計測断面では岸向きの、沖側の計測断面では沖向きの正味の漂砂量  $q_{net}$  も増加する傾向にある。このことから、勾配 1/40 については正味の漂砂量  $q_{net}$  は底面定常流速以外の要因の影響を大きく受け、勾配 1/20 については沖向き底面定常流速にある程度漂砂量が影響されていることが推測できる。

そこで、勾配 1/40 について正味の漂砂量  $q_{net}$  がいかなる要因によって影響を受けるかを検討してみた。代表値としてそれぞれの成分の 1/3 最大波によるものを用い、流速振幅の長周期成分  $U_{L1/3}$ 、短周期成分  $U_{S1/3}$  と

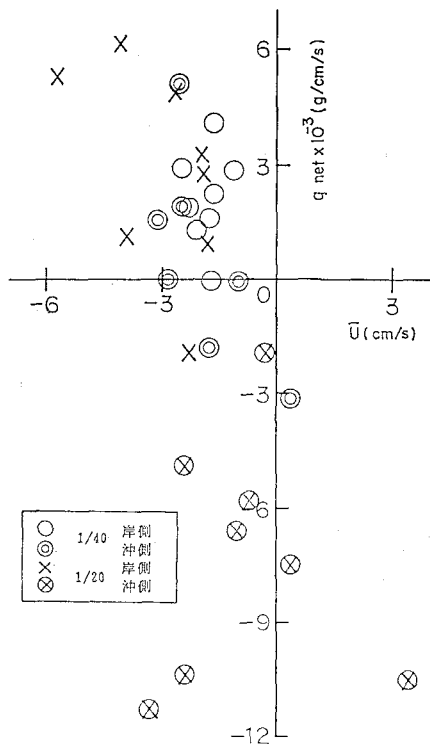


図-3 底面定常流速と正味の漂砂量

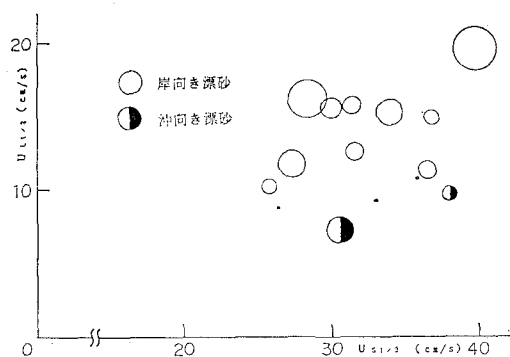


図-4 長周期、短周期流速振幅と正味の漂砂量  
(凡例の大きさは  $2.0 \times 10^{-3} \text{ g/cm/s}$  に対応する)

正味の漂砂量  $q_{net}$  の関係を表したものを 図-4 に示す。縦軸に  $U_{L1/3}$ 、横軸に  $U_{S1/3}$  をとり、正味の漂砂量を面積で表している。図より、同じ程度の短周期成分でも長周期成分が大きくなると正味の漂砂量が大きくなることがわかる。一方、同じ程度の長周期成分で短周期成分が増加しても正味の漂砂量には明かな傾向は認められない。このことから、長周期成分の正味の漂砂量へ及ぼす影響は大きいといえ、この特徴は勾配 1/40 において明かであることがわかる。

長周期成分の正味の漂砂量へ及ぼす影響についてさら

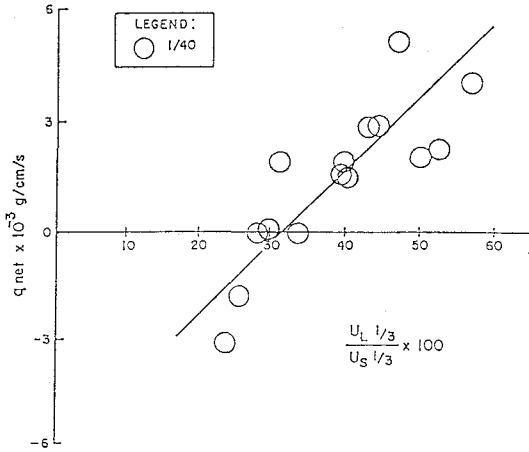


図-5 長周期、短周期流速振幅の比と正味の漂砂量

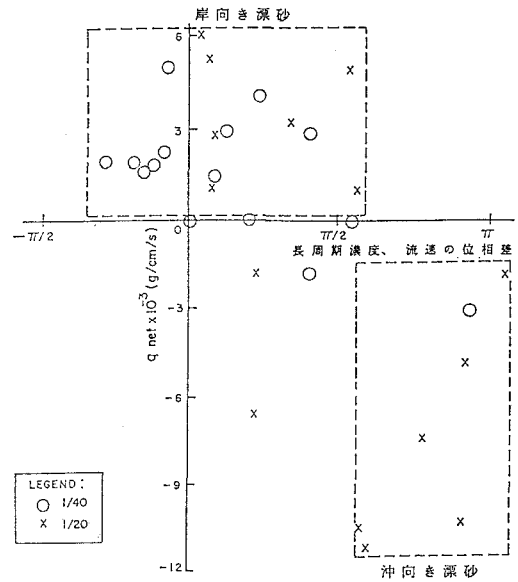


図-6 長周期濃度、流速の位相差と正味の漂砂量

に検討を加えてみた。勾配 1/40 の場合について、流速振幅の長周期成分  $U_L$  と流速振幅の短周期成分  $U_S$  の比と、正味の漂砂量  $q_{net}$  を比較したものを 図-5 に示す。この図から、全体的に長周期成分の短周期成分に対する割合が大きくなるにつれて、つまり図の横軸方向が増加するにつれて、正すなわち岸向きの正味の漂砂量  $q_{net}$  が大きくなることがわかる。これからも長周期成分の影響が大きいたことが明らかになるが、底質の移動方向を決定するメカニズムについてはこの図からは十分説明できない。

そこで浮遊砂の挙動に着目してみた。浮遊砂濃度  $C$  は一般に水面変動の包絡波形と高い相関があるようで、高い波が連なれば長周期の汚濁砂濃度  $C_L$  も高くなる傾向にある。浮遊砂の挙動によって正味の総底質移動方向がどれほど説明できるかを示すために 図-6 に示すような整理を試みた。

流速と浮遊砂濃度の時間変化の長周期成分  $U_L$ 、 $C_L$  を取り出し、この 2 つの位相差と正味の漂砂量  $q_{net}$  の関係を示してある。位相差の代表値としては両者のクロススペクトルの 0.2 Hz、0.1 Hz、0.05 Hz における位相差の平均値を用いた。流速と浮遊砂濃度の時間変化の長周期成分  $U_L$ 、 $C_L$  の 2 量の時間変化がそれぞれほぼ正弦的に起こると仮定すると、位相差が  $-\pi/2$  と  $\pi/2$  の間にはいるときは一周にわたって時間積分した浮遊砂フラックス  $Q_L$

$$Q_L = \int_0^T U_L C_L dt \dots\dots\dots (4)$$

は正すなわち岸向き、位相差が  $-\pi$  と  $-\pi/2$ 、 $\pi/2$  と  $\pi$  の間にはいるときは浮遊砂フラックスは負すなわち沖向きとなる。

図では実験で岸向き漂砂、沖向き漂砂となったものをおおむね枠で囲って示している。これらの実験結果はい

くつかの例外を除いて、上記の仮定に基づく長周期成分の浮遊砂フラックスの方向と正味の総漂砂量方向が一致しており、浮遊砂の長周期成分の挙動が漂砂移動に重要な役割を占めていることがわかる。このことは、1/40 のケースについては位相差が  $-\pi/2$  と  $\pi/2$  の間にはいる場合がほとんどであるため、図-5 で長周期成分の割合が増すにつれて岸向きの正味の漂砂量が増すことと対応している。

この現象は以下に述べる水位変動、底面流速、浮遊砂濃度の位相差から説明できる。浮遊砂濃度の時間変化を考えると、実験を通して長周期波の谷の部分で水位の低下が起こり、そこで短周期入射波の峰が到達すると一定のタイムラグの後に高い濃度の浮遊砂が観察されることが多かった。この高濃度の浮遊砂は長周期流速変動の峰の位相で岸に運ばれて沈降することが多く、結果として岸向きの正味の輸送量に貢献することとなる。

#### 4. 結 論

水理実験により長周期波の局所漂砂量に及ぼす影響と浮遊砂機構について検討を行い、以下の結論を得た。

- (1) 浮遊漂砂へ及ぼす影響は、勾配 1/40 では底面流速の長周期成分の影響が大きい。
- (2) 局所漂砂量については浮遊漂砂の長周期成分の影響が大きく、流速振幅の短周期成分に比べ長周期成分の割合が大きくなるにつれて漂砂量は大きくなる。
- (3) 長周期の浮遊漂砂は流速の長周期変動と浮遊砂濃度の長周期変動の位相差と高い相関があり、それらの振幅との積で漂砂の移動方向は評価できる。

## 参考文献

- 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・磯上知良(1989): 荒天時のバーム地形の侵食—長周期波に注目した現地観測—, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 354-358.
- 佐藤慎司・光信紀彦(1990): 不規則波による海浜断面地形変化の数值計算, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 309-313.
- 柴山知也・斉藤栄一・疋田克己・奥野雅量・岡安章夫(1990): 長周期波の局所漂砂量に及ぼす効果, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 279-283.
- 柴山知也・堀川清司(1985): 不規則波による底質移動量の数值実験, 第40回年次学術講演会講演概要集(II), pp. 605-606.
-