

# 沿岸砂州の動きからみた二次元地形応答特性

砂 村 継 夫\*・丸 山 康 樹\*\*

## 1. はじめに

現地の海浜地形が暴浪時にどのような応答特性を示すのかという問題は定量的にはほとんど解決されていない。この原因は、暴浪時の地形ならびに外力特性の時系列データの取得がきわめて困難なことによる。また、現地波浪は不規則波であり、かつ波浪特性が時間的に変動する。さらに潮位変化、底質粒径の非一様性や初期地形の複雑さなどが存在する。これらのために海浜地形応答系の基本的性質を理解することは容易ではない。そこで本研究では、現地スケールの大型造波水路実験で得られたデータを用い、沿岸砂州（以下、バーとよぶ）の冲向き移動に着目して暴浪に対する海浜地形の基本的応答特性を明らかにすることを目的とする。この実験では、波浪特性の時間的な変化はなく、比較的均一な粒径をもつ砂を用いて一様勾配の斜面を作り、これに規則波を作用させて地形変化が調べられている。

## 2. 大型水路実験および結果

実験は電力中央研究所の二次元大型造波水路<sup>1)</sup>（長さ 205 m, 幅 3.4 m, 深さ 6 m）を用いて行われた。水路の一端に作られた一様勾配の移動床斜面に規則波を作用させた。斜面勾配 ( $\tan \beta$ ) は 1/10, 1/20, 1/33, 1/50 の 4 種類、底質粒径 ( $D$ ) は 0.27 と 0.47 mm の 2 種類、実験波の条件は砕波波高 ( $H_b$ ) 0.8~2.2 m, 周期 ( $T$ ) 3.0~12 s である。これらを適宜組合せて、合計 17 ケースの実験（表-1）が行われ、地形変化および波浪特性の時系列データが得られた。

Case 5-1 を除くすべてのケースで砕波点よりわずかに岸側の地点に頂部（クレスト）をもつバーが形成された。バーは時間とともに発達しながら岸あるいは沖に移動した。バーの岸向き移動の 1 例（Case 1-1）を 図-1 に、冲向き移動の代表例として Case 4-3 と 6-1 をそれぞれ 図-2 と 3 に掲げる。いずれの図においても横軸の目盛は原点（造波板より 10.9 m）からの水平距離で、矢印は砕波点を示す。図-2 はバーの発達に長時間

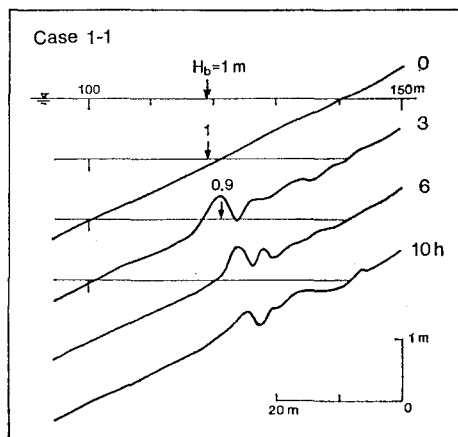


図-1 バーの岸方向への移動

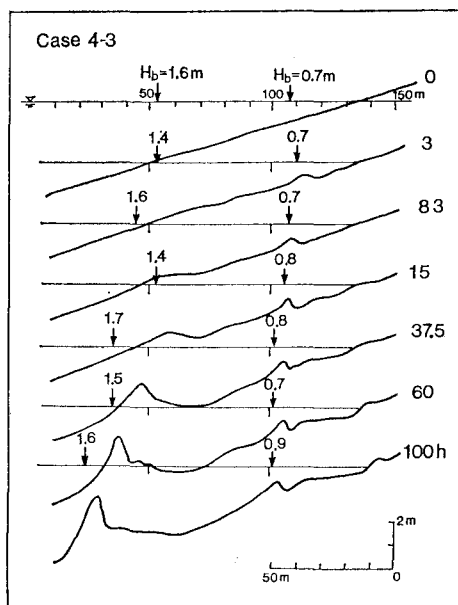


図-2 バーの沖方向への移動(1)

を要する、いわゆる slow response の例を、図-3 は短時間にバーの発達がみられる rapid response の例を示す。顕著な二次砕波が生じるケースではそれによっ

\* 正会員 工博 筑波大学助教授 地球科学系

\*\* 正会員 工博 (財)電力中央研究所 我孫子研究所 水理部

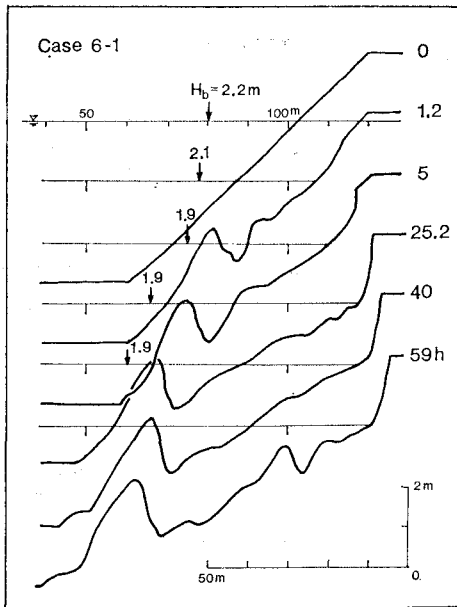


図-3 バーの沖方向への移動(2)

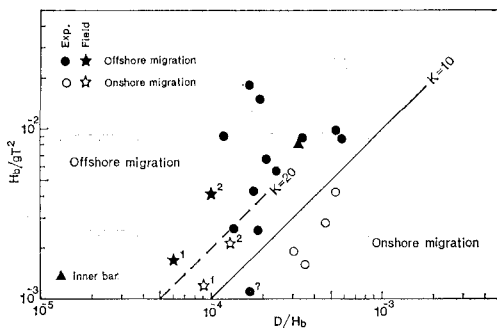


図-4 バーの移動方向 (現地データ 1 は文献 3) に, 2 は 4) による)

てもバーが形成された (図-2). この種のバーを特に inner bar とよぶ. 図-1~3 よりわかるように, バーの発達・移動とともに碎波波高は多少変動するようになるが, データ解析に用いる碎波波高としては実験開始直後 (地形変化がほとんど生じていない時点) の値を採用した.

### 3. バーの移動方向

バーの移動方向は, 碎波帯内の net の砂移動方向と密接に関係すると考えられるので, この砂移動方向を規定するパラメータ<sup>2)</sup>を用いて, バーの移動方向について考察した. このパラメータは

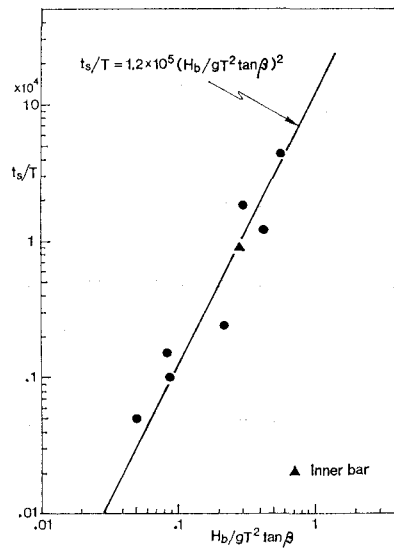
$$K = H_b^2 / gT^2 D \quad \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる. ここに  $g$  は重力の加速度である. 図-4 に結果を示す. 1つのデータポイントを除き  $K=10$  の

表-1 実験条件と結果

| Case No. | $D$ (mm) | $T$ (s)   | $H_0$ (m) | $H_b$ (m) | $\tan \beta$ | $t$ (h) | バーの移動方向 |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|---------|---------|
| 1-1      | 0.47     | 6.0       | 0.46      | 1.0       | 1/20         | 20.0    | 岸       |
| 1-3      |          | 9.0       | 0.95      | 1.3       |              | 69.5    | 岸       |
| 1-8      |          | 3.0       | 0.85      | 0.85      |              | 21.0    | 沖       |
| 2-1      |          | 6.0       | 1.76      | 2.0       | 1/33         | 35.0    | 沖       |
| 2-2      |          | 9.0       | 0.73      | 1.5       |              | 39.0    | 岸       |
| 2-3      |          | 3.1       | 0.71      | 0.80      |              | 29.4    | 沖       |
| 3-1*     | 0.27     | 9.1       | 0.96      | 2.0       | 1/20         | 71.0    | 沖       |
| 3-2*     |          | 6.0       | 1.10      | 1.5       |              | 98.1    | 沖       |
| 3-3      |          | 12.0      | 0.65      | 1.5       |              | 80.0    | 沖***    |
| 3-4*     |          | 3.1       | 1.62      | 1.4       |              | 76.1    | 沖       |
| 4-1      |          | 3.5       | 0.34      | 0.50      | 1/33         | 100     | 岸       |
| 4-2*     |          | 4.5       | 1.06      | 1.3       |              | 78.0    | 沖       |
| 4-3*     |          | 3.1       | 1.61      | 1.6       |              | 100     | 沖       |
| (4-3*    |          | inner bar |           | 0.80**    |              |         | 沖)      |
| 5-1      |          | 5.8       | 0.30      | 0.65      | 1/50         | 87.2    | —****   |
| 5-2*     |          | 3.1       | 0.80      | 0.80      |              | 103     | 沖       |
| 6-1*     |          | 5.0       | 1.78      | 2.2       | 1/10         | 59.0    | 沖       |
| 6-2      |          | 7.5       | 1.10      | 1.4       |              | 30.5    | 沖***    |

\* 第4章で用いたデータ \*\* 2次碎波波高 \*\*\* 時間とともにバー地形不明瞭となる \*\*\*\* 顕著なバーの発達なし

図-5  $t_s/T$  と  $H_b/gT^2 \tan \beta$  の関係

直線で沖向き・岸向きの領域が区分できることがわかる. すなわち, 碎波によって形成されたバーは,  $K > 10$  のときは沖向きに,  $K < 10$  ならば岸向きに移動する.

図-4 には参考までに米国の North Carolina 州 Duck で取得された現地データ<sup>3,4)</sup>もプロットしてある. プロットの際用いた  $H_b$  と  $T$  はそれぞれ有義波の碎波波高と周期で, いずれもバーの移動を示す期間における平均値である. データ数が非常に少ないが, 2つの領域を区分する  $K$  の値としては  $K=20$ <sup>5)</sup>程度が妥当のように思われる. 現地スケールの実験と現地における  $K$  値の相異については別の機会に論じたい.

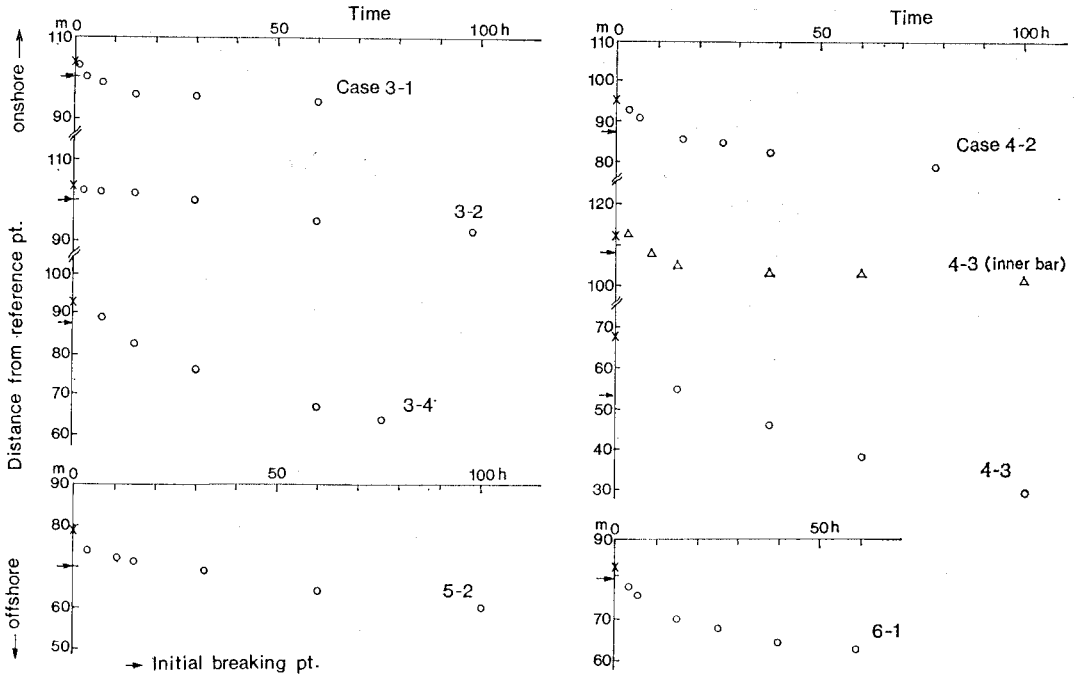


図-6 バー頂部位置の時間的变化

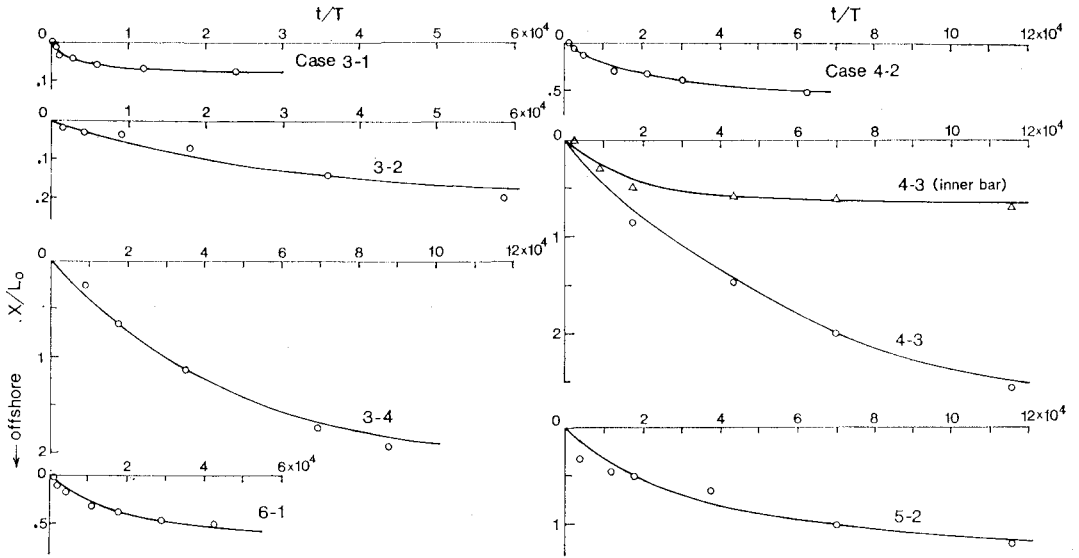


図-7 無次元化されたバー頂部位置の時間的变化と式(5)の曲線

#### 4. 沖方向へ移動するバーの発達と位置

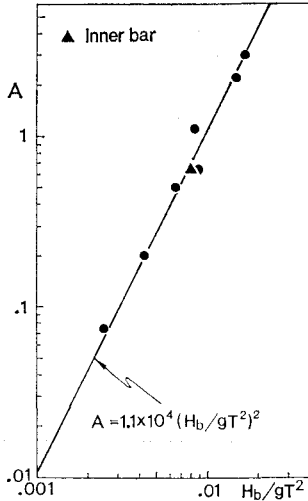
バーは時間とともに比高が大きくなり、遂にはほぼ一定値を示す定常状態に達する(図-2,3)。まず、この定常状態に達するまでの時間について検討する。用いたデータは、波の作用時間が50時間以上に及ぶ7ケース8

個(inner barのデータ1個を含む)である(表-1)。バーの比高がほぼ一定となるのに要する時間( $t_s$ )は、図-2,3のような海浜プロファイルの時系列データから読取った。この時間を波の周期で無次元化した $t_s/T$ を縦軸に、碎波型式を規定するGalvin<sup>6)</sup>のパラメータ( $H_b/gT^2 \tan \beta$ )を横軸にとってデータをプロットした

表-2 A と  $\alpha$  の値

| Case No. | A     | $\alpha$             | Case No. | A    | $\alpha$             |
|----------|-------|----------------------|----------|------|----------------------|
| 3-1      | 0.075 | $2.8 \times 10^{-4}$ | 4-3      | 3.0  | $1.6 \times 10^{-5}$ |
| 3-2      | 0.20  | $3.8 \times 10^{-5}$ | 4-3*     | 0.65 | $5.9 \times 10^{-5}$ |
| 3-4      | 2.2   | $2.0 \times 10^{-5}$ | 5-2      | 1.1  | $3.5 \times 10^{-5}$ |
| 4-2      | 0.50  | $5.4 \times 10^{-5}$ | 6-1      | 0.63 | $5.0 \times 10^{-5}$ |

\* Inner bar

図-8 A と  $H_b/gT^2$  の関係

ものが図-5である。ただし、 $\tan \beta$  は初期斜面勾配である。図中の直線は

$$t_s/T = 1.2 \times 10^5 (H_b/gT^2 \tan \beta)^2 \quad (2)$$

で示される。この式は、spilling 型よりも plunging 型碎波によって形成されるバーの比高の方がより速く定常に達することを示している。

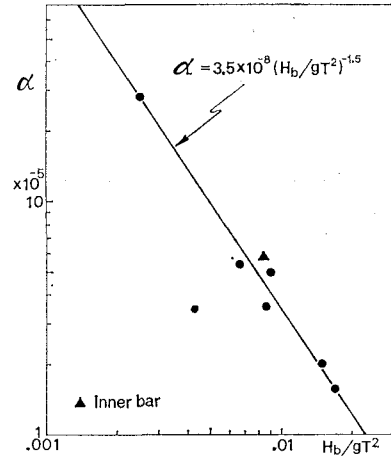
次に、上述の7ケース8個のデータを用いて、バーの位置の経時変化を調べる。バーの頂部は沖へ移動し、時間の経過とともにある一定の場所に落ちつく傾向が明らかにみられる(図-6)。このような時間的変化は次式で示される指数関数で表現できると考えられる。

$$X = B[1 - \exp(-bt)] \quad (3)$$

ここに  $X$  はバー頂部の位置、 $t$  は時間、 $B$  および  $b$  は定数である。問題は、 $X$  の基点をどこにとるべきかということである。この基点は波浪条件等から一義的に決定できることが望ましい。いずれの実験ケースにおいても実験開始直後からバーが形成されることはないが、遅かれ早かれ碎波点と碎波の突込み点との間の地点に砂の堆積が始まり、これがバーへと発達してゆく。定常状態におけるバーの頂部位置( $l_c$ )は次式で与えられる<sup>7)</sup>。

$$l_c/H_b = 0.18(l_t/H_b)^{3/2} \quad (4)$$

ここに  $l_c$  は碎波点からの水平距離で表われ、 $l_t =$

図-9  $\alpha$  と  $H_b/gT^2$  の関係

$(10L_0/\tan \beta)(H_b/gT^2)^{3/4}$ 、 $L_0$  は沖波波長である。この式から計算される  $l_c$  が、初期の砂の堆積位置をも表わすことができると仮定し、この位置を  $X$  の基点とする。図-6中の縦軸上の×印はこの点を示し、実験開始直後の碎波点(実測値、図中矢印で示される地点)から  $l_c$  の距離だけ岸側に相当する。

式(3)を次のように無次元化する。

$$X/L_0 = A[1 - \exp(-\alpha t/T)] \quad (5)$$

ここに  $L_0$  は沖波波長、 $A$  と  $\alpha$  は無次元定数である。

図-7は、縦軸に  $X/L_0$  を、横軸に  $t/T$  をとり、図-6のデータをプロットしなおしたものである。図-7中の曲線は、式(5)がデータポイントにできるだけよくfitするように  $A$  と  $\alpha$  を決定して描いたものである。ケースごとの  $A$  と  $\alpha$  の値は表-2に示されている。図-8, 9からわかるように、 $A$  と  $\alpha$  はともに  $H_b/gT^2$  の関数として、それぞれ次式のように表わすことができる。

$$A = 1.1 \times 10^4 (H_b/gT^2)^2 \quad (6)$$

$$\alpha = 3.5 \times 10^{-8} (H_b/gT^2)^{-3/2} \quad (7)$$

式(5)、(6)、(7)より、沖方向へ移動するバーの速度( $dX/dt$ )は

$$dX/dt = 6.13 \times 10^{-5} \sqrt{gH_b} \exp(-\alpha t/T) \quad (8)$$

で表わすことができ、バーの最終位置( $X_e$ )は

$$X_e = \lim_{t \rightarrow \infty} X = 1.75 \times 10^3 H_b^2/gT^2 \quad (9)$$

で示される。

## 5. 地形応答特性

時間的に変動しない波浪の入力に対して、出力としてのバーの挙動が式(5)で示されたことは、侵食性海浜の地形変化に平衡状態が存在することを暗示している。この応答系の時定数  $\tau$  は  $\tau = T/\alpha$  で与えられるので、

$$\tau = 2.9 \times 10^7 H_b^{3/2} / g^{3/2} T^2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

となる。応答の立上り速さは  $\tau$  が大きいほど遅いので、この系は  $T$  が一定ならば  $H_b$  が大きいほどゆっくりと平衡状態に近づく。平衡地形の 95% に達するまでの時間は

$$t = 3\tau \quad \dots\dots\dots (11)$$

で与えられる。したがって、例えば平衡状態に至るまでの侵食性海浜変形を数値シミュレーションにより再現する際のおおよその期間の目安を式 (10), (11) より定めることができる。

## 6. おわりに

バーの挙動に着目して、現地スケールの二次元水路実験データを解析した結果、次のことが明らかとなった。

(1) 碎波によって作られたバーは、 $K > 10$  のときには沖向きに、 $K < 10$  ならば岸向きに移動する (図-4)。

(2) 沖向きに移動するバーの比高が定常状態に達するのに必要な時間は式 (2) で与えられる。すなわち spilling 型よりも plunging 型碎波によって形成されるバーの比高の方が速く定常に達する。

(3) 沖に向うバーの頂部位置の時間的变化は式 (5) で示される。

(4) 侵食性海浜地形の応答系は、波の周期が一定ならば、碎波波高が大きいほどゆっくりと平衡状態に近づく。

## 参 考 文 献

- 1) 清水隆夫・斉藤昭三・丸山康樹・長谷川寛・鹿島遼一：大型造波水路実験による岸沖漂砂量分布形のモデル化，電力中央研究所 研究報告，No. 384028, 60 p., 1985.
- 2) 砂村継夫：Swash zone を含む碎波帯の岸沖漂砂量に関する研究，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 316~320, 1984.
- 3) Mason, C., A. H. Sallenger, R. A. Holman and W. A. Birkemeier: Duck 82—A coastal storm processes experiment, Proc. 19th Int. Conf. Coastal Eng., pp. 1913~1928, 1984.
- 4) Coastal Engineering Research Center: Unpub. Duck data, 1985.
- 5) 前出 2)。
- 6) Galvin, C. J., Jr.: Breaker type classification on three laboratory beaches, Jour. Geophys. Res., Vol. 73, pp. 3651~3659, 1968.
- 7) 砂村継夫：沿岸砂州の形成位置と規模，第32回海岸工学講演会論文集，pp. 331~335, 1985.