

沿岸砂州の形成位置と規模

砂 村 継 夫*

1. はじめに

暴波時に海浜から侵食された土砂は浅海域に運ばれ、そこに堆積して沿岸砂州（以下、バーとよぶ）を形成することはよく知られているが、どの程度の規模のバーがどこに形成されるのかという点に関する研究は十分に行われていない。その主要な原因は、暴浪時あるいはその直後の現地調査が非常に困難であるため、高い精度をもつ地形データがほとんど得られていないことによると考えられる。しかし、室内実験においてもこの種の研究はほとんど行われていない。わずかに、バーの頂部水深とトラフ水深との関係を明らかにした Keulegan¹⁾の実験的研究があるにすぎない。その後、両者の関係は現地データを用いて検討されてはいる²⁾⁻⁵⁾が、波浪特性との関連を明確にした研究はない。そこで、ここでは既往の実験結果をもとに、バーの形成位置や規模を波浪条件などから予測できるように経験式を求めることを試みた。

2. 砕波の突込み点位置

Miller⁶⁾は、バーが plunging 型砕波で形成されるとし、この型の砕波の重要性を強調しているが、移動床実験を実際行ってみると、plunging 型のみならず spilling 型砕波によっても、その突込み点付近にバーのトラフが形成されることがわかる。したがって、トラフ位置を決定するには砕波の突込み点位置を正確に知る必要がある。しかし、この位置を波高や海底勾配の条件から決定できる段階までには至っていない。

そこで、まずこの点に関する一般化された関係を得る目的で2次元造波水路実験を行った。用いた水路は長さ12 m、幅 0.2 m、高さ 0.4 m で、水路の一端に一樣勾配をもつ固定床斜面を設けた。一樣水深部での水深を28 cm と一定に保ち、斜面勾配を 1/5, 1/10, 1/20 の3種類とした。波の周期は 0.8 s から 0.4 s 刻みで 2.4 s まで変化させた。斜面勾配・周期・波高を適宜組合せて合計 56 ケースの実験を行った。各ケースごとに砕波型式を決定し、砕波波高 (H_b)、砕波点から突込み点までの水平距離 (l_p) (図-1) を測定した。

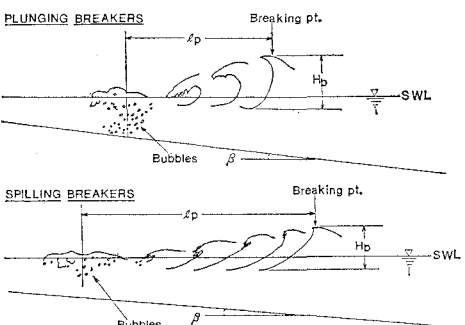


図-1 定義図

この l_p は、 H_b , T (波の周期), g (重力の加速度) および $\tan \beta$ (斜面勾配) の関数と考えられる。すなわち

$$l_p = f_1(H_b, T, g, \tan \beta) \dots\dots\dots (1)$$

上式を、 L_0 (沖波波長), T , g を用いて無次元化すると

$$l_p/L_0 = f_2(H_b/gT^2, \tan \beta) \dots\dots\dots (2)$$

となる。この関数形を決定するため、 l_p/L_0 と H_b/gT^2 のパラメータを用いて実験データを整理した結果が図-2 である。この図より

$$l_p/L_0 = A(H_b/gT^2)^{1/3} \dots\dots\dots (3)$$

で表わせることがわかる。ここに、 A は $\tan \beta$ の関数

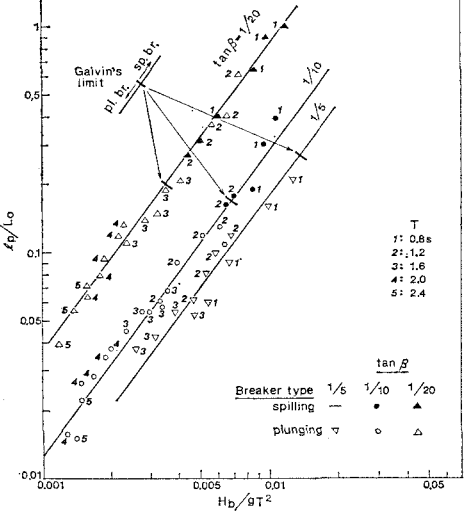
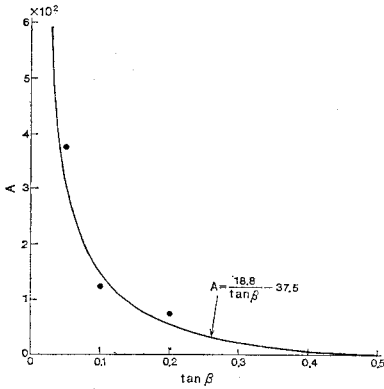


図-2 l_p/L_0 と H_b/gT^2 の関係

* 正会員 工博 筑波大学助教授 地球科学系



図—3 A と $\tan \beta$ の関係

である。 A と $\tan \beta$ の関係を知るために、図中の各線から求まる A の値とその直線に付されている $\tan \beta$ の値とをプロットした結果が 図—3 である。この図より

$$A = (18.8 / \tan \beta) - 37.5 \quad \cdots \cdots (4)$$

となり、式 (3)、(4) より l_p は次式で表わせる。

$$l_p / L_0 = [(18.8 / \tan \beta) - 37.5] (H_b / g T^2)^{4/3} \quad \cdots \cdots (5)$$

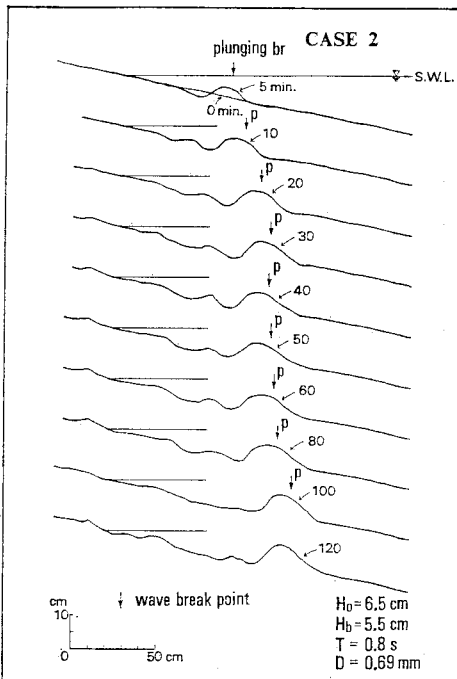
図—2 中には plunging 型と spilling 型砕波を区分する Galvin⁷⁾ の限界

$$H_b / g T^2 \tan \beta = 0.068 \quad \cdots \cdots (6)$$

を参考までに記入した。斜面勾配 1/10 と 1/20 では、この限界はほぼ妥当な結果を与えていることがわかる。

3. バーの発達過程

図—4⁹⁾は、バーの発達状態を示す二次元水路実験結



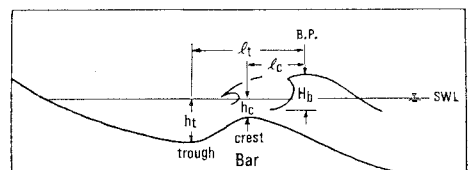
図—4 バーの発達状態を示す実験結果の一例

果の一例である。一般に、規則波を用いた実験においてバーが形成される場合には短時間のうちに定常状態に達し、長時間波を作用させるとトラフに堆積が生じバー地形が不明瞭になり、最終的には棚状の地形へと発達する。したがって、地形計測にはバー地形が定常状態を示すプロファイルを用いるべきである。図—4 では、バー地形は波作用開始後約 20 分で定常状態に達していることがわかる。すなわち 20 分以降ではバーの形状は大きな変化を示していない。しかし、時間とともにバーが全体的に沖方向に徐々に移動していることがわかる。これに伴ない砕波点も沖方向へ移動している。したがって、砕波点からトラフまでの水平距離は時間的にはほぼ一定と考えてよい。このようなバーの沖方向移動とは逆に、波浪や底質の条件によっては岸方向へ移動することもある。なお、バーの岸沖移動については別の機会に述べたい。

4. バーの形成位置

前述したように、バーのトラフ位置は砕波の突込み点と密接に関連するので、トラフ位置も基本的には式 (5) と類似の関数形で示されるものと考えられる。そこで既往のデータを用いて、この点を検討した。データ (表—1) は、電力中央研究所 (CRIEPI) で行われた大型造波水路 (長さ 205 m, 幅 3.4 m, 深さ 6 m) を用いた実験の結果、渡辺ら⁹⁾による中型水路 (長さ 25 m, 幅 0.8 m, 深さ 1.5 m) の実験結果、および横塚⁹⁾による小型水路 (長さ 12 m, 幅 0.2 m, 深さ 0.4 m) の実験結果の 3 種類である。表—1 中の電力中央研究所の現地スケールの実験データは、Kajima et al.¹⁰⁾、清水ら¹¹⁾、および丸山・清水¹²⁾の資料からまとめたものである。渡辺ら⁹⁾の文献では、実験開始 1 時間後の地形プロファイルしか利用できないので、1 時間でバー地形が定常に達していると仮定して、このデータを地形計測に用いた。その他の場合には、プロファイルの時間的な変化から定常状態のバー地形を選び出し計測した。表—1 からわかるように、底質粒径、波浪、斜面勾配の諸条件がかなり広範にわたっている。

定常状態とみなせるバーのトラフからその時の砕波点までの水平距離を l_t とする (図—5)。図—2 と同様に、 l_t / L_0 と $H_b / g T^2$ の関係をプロットした結果が 図—6 である。正規化されたトラフ位置 l_t / L_0 は底質粒径とは無

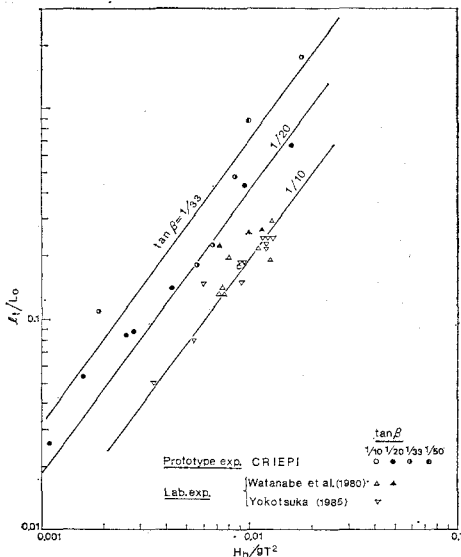


図—5 定義図

表-1 バーに関する既往の実験資料

	D (mm)	T (s)	H_b (cm)	l_i (cm)	l_e (cm)	h_e (cm)	h_c (cm)	$\tan \beta$	備 考
電力中央研究所 (CRIEPI) による 大型造波水路実験	0.47	6.0	100	500	250	100	55	1/20	CASE 1-1
		9.0	130	700	500	110	75		1-3
		3.0	85	600	300	100	50		1-8
		6.0	200	1000	400	220	120	1/33	2-1
	0.27		(70			65	45		inner bar)
		9.0	150	1400	700	150	70		2-2
		3.1	80	700	500	70	40		2-3
		9.1	210	1100	750	170	90	1/20	3-1
		6.0	150	800	500	150	75		3-2
		12	160	600	250	160	110		3-3
		3.1	150	1000	550	220	120		3-4
			(60			70	40		inner bar)
		4.5	130	700	150	140	70	1/33	4-2
			(70			100	50		inner bar)
		3.1	170	2600	1100	250	140		4-3
		3.1	95	1300	1100	130	55	1/50	5-2
		5.0	220	700	200	210	120	1/10	6-1
渡辺らによる室内実験	0.2	1.0	11.5*	35	17	10	8.0	1/10	Case A-114
			13.0*	45	20	13	9.0		A-115
		1.5	15.9*	50	25	13	8.5		A-124
	0.7		17.6*	70	35	11	9.5		A-125
		1.0	12.5*	30	10	11	7.0		B-115
		1.5	15.9*	45	20	9.0	5.5		B-124
			16.8*	45	20	11	6.5		B-125
		1.0	10.0*	40	12	8.0	5.5	1/20	B-214
			11.4*	40	10	12	7.0		B-215
		1.5	15.4*	80	45	12	7.0		B-225
横塚による室内実験	0.69	0.8	5.8	15	4.0	6.0	3.0	1/10	CASE 1
			7.3	23	5.0	8.5	4.5		2
			7.7	24	8.0	11	5.5		3
	0.22	0.8	3.7	15	5.0	4.0	2.5		10
			5.7	19	5.0	8.0	4.0		11
			7.5	24	2.0	11	5.5		12
		1.5	7.7	18	5.0	5.5	3.5		14
	1.3		12	28	8.0	7.0	5.5		15
		0.8	7.6	22	9.0	7.5	3.8		20
			8.3	24	8.0	8.5	4.5		21
		0.8	5.7	19	8.0	4.5	3.0		29

* 次式¹⁸⁾ $[H_b/H_0=(\tan \beta)^{0.2}(H_0/L_0)-0.25]$ による計算値。

図-6 l_i/L_0 と H_b/gT^2 の関係

関係を次式で表現できる。

$$l_i/L_0 = A_b (H_b/gT^2)^{4/3} \quad (7)$$

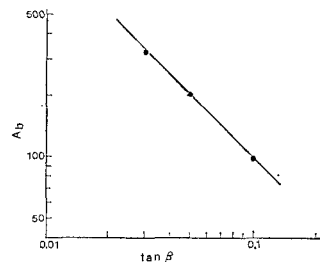
ここに、 A_b は $\tan \beta$ (初期斜面勾配) の関数である。 A_b と $\tan \beta$ の関係は図-7に示されるように

$$A_b = 10/\tan \beta \quad (8)$$

で与えられるので、トラフ位置は式(7)、(8)より

$$l_i/L_0 = (10/\tan \beta) (H_b/gT^2)^{4/3} \quad (9)$$

と書ける。この関係を再確認するために、縦軸に l_i/L_0 ,

図-7 A_b と $\tan \beta$ の関係

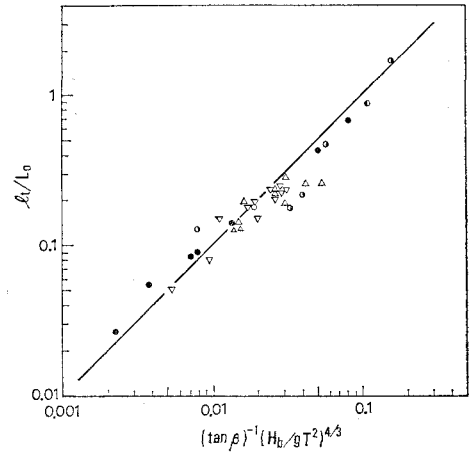


図-8 l_t/L_0 と $(\tan \beta)^{-1}(H_b/gT^2)^{4/3}$ の関係 (凡例は図-6と同じ)

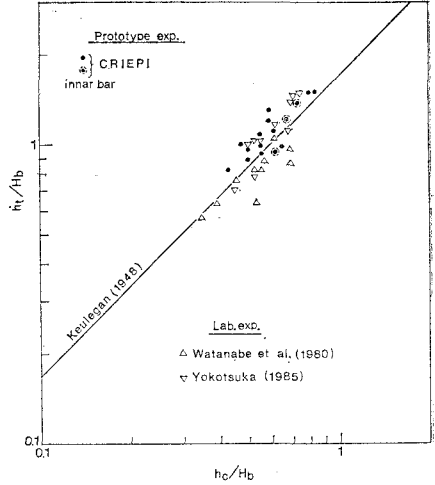


図-10 h_t/H_b と h_c/H_b の関係

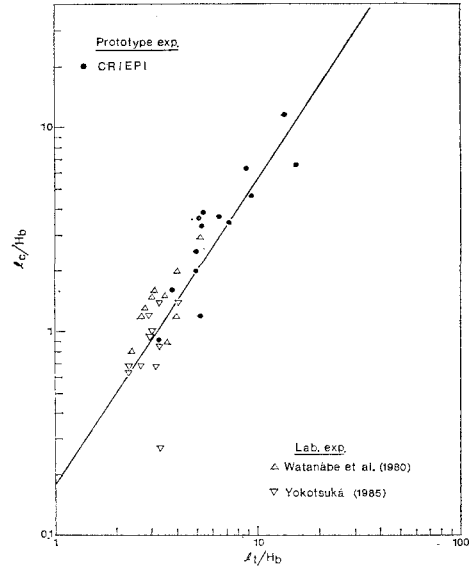


図-9 l_c/H_b と l_t/H_b の関係

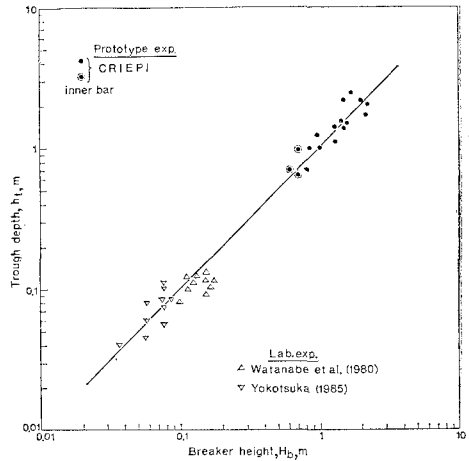


図-11 h_t と H_b の関係

$$h_t = 1.69 h_c \dots\dots\dots (11)$$

の関係があることを実験により見出した。この関係を確認するため、前述のデータ(表-1)を用いて h_t/H_b と h_c/H_b の関係を調べた結果が図-10である。この図より式(11)が成立していることがわかる。

ところが、 h_c あるいは h_t を決定するパラメータについてはShepardの研究を除けばほとんど定量的な検討が行われていない。彼は現地データを用いて h_c および h_t と沖波波高(H_b)との関係を調べている²⁾が、データのバラツキがあまりにも大きいため有意な定量的関係を求めることはむづかしい。バーが存在する海岸では直観的に $h_t \sim H_b$ の関係が成立すると考えられる。そこで h_t と H_b のデータ(表-1)をプロットしてみた結果が図-11である。データに多少のバラツキがみられるが近似的には

$$h_t = H_b \dots\dots\dots (12)$$

という最も単純な関係が成立する。トラフ水深には海底

横軸に $(\tan \beta)^{-1}(H_b/gT^2)^{4/3}$ をとって表示したものが図-8であり、図中の直線は式(9)を示す。

次に、バーの頂部位置を砕波点からの水平距離(l_c)で表わすことにする。砕波波高で正規化した l_c/H_b と l_t/H_b の関係は図-9のようになる。データのバラツキが大きい、図中の直線で示されるような傾向がある。この直線は次式で示される。

$$l_c/H_b = 0.18 (l_t/H_b)^{3/2} \dots\dots\dots (10)$$

波浪および海底勾配の条件が与えられれば式(9)から l_t が求められるので、上式から l_c も決定できる。

5. バーの頂部水深とトラフ水深

Keulegan¹⁾は、バー頂部水深(h_c)とトラフ水深(h_t)との間に

勾配や底質粒径は全く関係しないことがわかる。

6. おわりに

碎波波高、波の周期、海底勾配が与えられれば式(9)からトラフ位置が求まり、式(10)より頂部位置が計算できる。また、碎波波高から式(12)を用いトラフ水深が求まるので、式(11)から頂部水深も推定できる。一亘形成されたバーの位置や規模には、底質粒径は全く関係しないことがわかる。したがって、これらの経験式はそのまま現地に適用できるものと考えられる。

最後に、本研究は文部省科学研究費(一般研究C, 研究代表者: 西村仁嗣筑波大学助教授)による研究の一部であることを付記し、謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Keulegan, G. H.: An experimental study of submarine sand bars, Beach Erosion Board, Tech. Rept., No. 3, 40 p., 1948.
- 2) Shepard, F. P.: Longshore-bars and longshore-troughs, Beach Erosion Board, Tech. Memo., No. 15, 32 p., 1950.
- 3) 本間 仁・堀川清司・鮮干 澈: 波浪、漂砂および海浜変形について, 第6回海岸工学講演会講演集, pp. 78~88, 1959.
- 4) Herbich, J. B.: Comparison of model and beach scour pattern, Proc. 12th Int. Conf. Coastal Eng., pp. 1281~1300, 1970.
- 5) Greenwood, B. and R. G. D. Davidson-Arnott: Marine bars and nearshore sedimentary processes, Kouchibouguac Bay, New Brunswick, in J. Hails and A. Carr (Editors), Nearshore Sediment Dynamics and Sedimentation, John Wiley, London, pp. 123~150, 1975.
- 6) Miller, R. L.: Role of vortices in surfzone prediction: Sedimentation and wave forces, in R. A. Davis, Jr. and R. L. Ethington (Editors), Beach and Nearshore Sedimentation, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Pub., No. 24, pp. 92~114, 1976.
- 7) Galvin, C. J., Jr.: Breaker type classification on three laboratory beaches, Jour. Geophys. Res., Vol. 73, pp. 3651~3659, 1968.
- 8) 横塚淑江: 砂浜海岸の地形変化に関する実験的研究, 筑波大学自然科学類(地球科学専攻)卒業論文, 51 p., 1985. (未公表)
- 9) 渡辺 晃・利穂吉彦・堀川清司: 二次元海浜変形と岸沖漂砂量分布, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 172~176, 1979.
- 10) Kajima, R., T. Shimizu, K. Maruyama and S. Saito: Experiments on beach profile change with a large wave flume, Proc. 18th Int. Conf. Coastal Eng., pp. 1385~1404, 1982.
- 11) 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, 電力中央研究所報告, No. 384028, 60 p., 1985.
- 12) 丸山康樹・清水隆夫: 岸沖漂砂を考慮した地形変化シミュレーション, 電力中央研究所報告, No. 400000, 1985. (準備中)
- 13) Sunamura, T. and K. Horikawa: Two-dimensional beach transformation due to waves, Proc. 14th Int. Conf. Coastal Eng., pp. 920~938, 1974.