

沿岸砂州の短期変動特性

栗 山 善 昭*

1. はじめに

離岸堤や潜堤など環境に与えるインパクトの大きい人工構造物の代わりに、沖合養浜によって環境にやさしく海岸を守っていかうとする試みが、オーストラリアやヨーロッパなどで始まっている（例えば、Murray et al., 1994; Mulder et al., 1994）。このような沖合養浜によって形成された地形の安定を考える上で、自然海岸の沖に通常見られる沿岸砂州（以下、砂州と呼ぶ）の移動特性の把握は必要不可欠である。しかしながら、長周期波や碎波に着目した砂州の形成位置に関する検討例は多数あるものの、砂州の移動特性の検討例は非常に少なく、碎波に注目した検討が数例ある程度である（砂村・丸山, 1986; Larson・Kraus, 1992; Sunamura・Takeda, 1993）。これらの研究では、沖もしくは碎波位置における波浪諸元と砂州の移動方向との関係が調べられているものの、砂州移動の主たる原因と考えられる碎波そのものは極めて単純にしか扱われていない。例えば、現地では碎波位置が波ごとに異なるにもかかわらず、このような碎波の不規則性は全く考慮されていない。そこで、本研究では、碎波の不規則性を碎波率（全体の波の数に対する碎波している波の数の割合）で評価し、砂州頂部における碎波率や碎波波高、周期と砂州の移動特性との関係を現地データを基に検討した。

2. 砂州の移動状況

本研究では、全長 427 m の波崎海洋研究施設（以下 HORS, 図-1 参照）において取得された断面データのうち、砂州の移動特性の異なる 2 時期（1987 年 1 月～3 月、1994 年 1 月～3 月）のデータを用いた。それぞれの期間の断面変化は図-2 に示されている通りで、1987 年には、砂州が次第に沖側に移動したのに対して、1994 年では砂州がほぼ同じ位置に留まっていた。なお、図-2 における沖方向距離の基準はほぼ汀線位置に等しく、高さは波崎工事基準面（D.L.）を基準としている。HORS では、断面測定が汀線より岸約 100 m の地点から沖約 400 m の地点までの約 500 m の範囲で、休日を除く 1 日 1 回、5 m

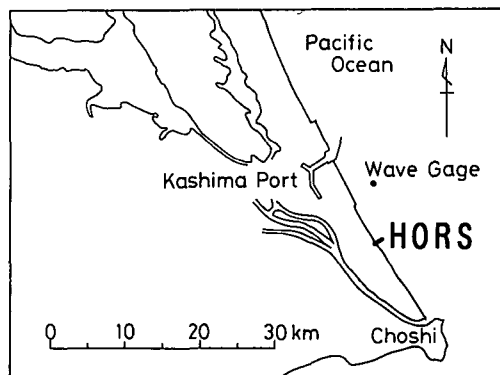


図-1 波崎海洋研究施設の位置

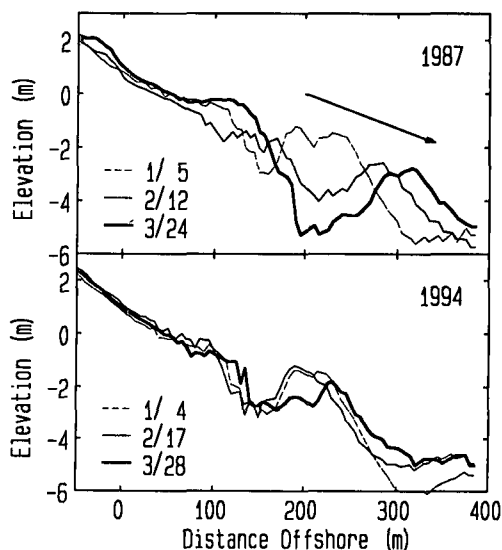


図-2 解析期間内の断面変化

間隔で行われている。

沿岸砂州の位置を表すパラメーターとしては、Larson・Kraus (1992) のように、砂州の重心位置を考えた。ただし、Larson・Kraus (1992) が平衡断面を基準としてそれより上方の領域を砂州と定義したのに対して、本研究では、1987 年 1 月 4 日から 1994 年 12 月 28 日までの 8 年間の平均断面を基準とし、沖方向距離 150 m から

* 正会員 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部 主任研究官

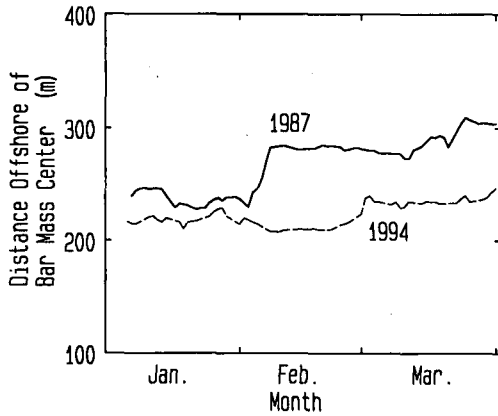


図-3 砂州の重心位置の経時変化

HORS先端までの範囲に形成された砂州を解析対象とした。図-3は、それぞれの期間の砂州の重心位置の経時変化を示したもので、砂州は、1987年には、2月初旬に約50m沖に移動し、その後3月中旬に約25m沖に移動したのに対して、1994年には、わずか35m沖に移動しただけであった。

ここで、HORS周辺の砂州の三次元性について若干の検討を行う。1986年から1994年までに行われた14回の深浅測量結果を基にすると、HORS周辺では、沖方向距離が約200m以上の砂州は沿岸方向に一樣となっていると言える。本研究の解析対象期間中は深浅測量が行われていなかったため、砂州の三次元性を示す例として、1989年3月の深浅図を図-4に示す。図中、ハッチをつけた領域は、砂州のうちD.L.-2mより浅い領域であり、この図から、砂州の強い二次元性が見て取れる。

砂州の三次元性を示す指標として、HORSを中心とした沿岸方向400mの範囲（7測線）における砂州の重心位置の沿岸方向の標準偏差を考え、HORS直下における砂州の重心位置との関係を図-5に示した。この図より、沖方向距離が200m以上の砂州の重心位置の沿岸方向の標準偏差は10m以下であり、砂州が強い二次元性を持っていることがわかる。よって、HORSで観測された沖方向距離200mより沖の砂州の移動は、三次元性を持った砂州の沿岸方向の移動によって生じたものではなく、主として二次元性を持った砂州の岸沖方向の移動によって生じたものであると見なすことができる。

3. 砂州頂部における波高、碎波率と碎波波高の計算

砂州の移動特性の検討に用いた砂州頂部における波高、碎波率と碎波波高は、沖波諸元より栗山・尾崎(1995)の波浪変形モデルによって求めた。沖波は、鹿児島港の沖、水深約23mの地点（図-1参照）で毎偶数正時をはさむ

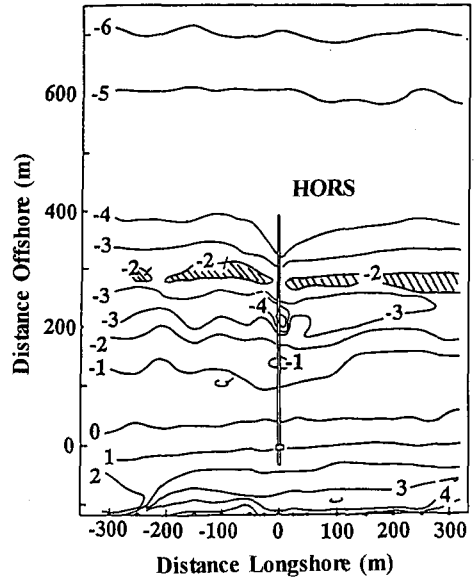
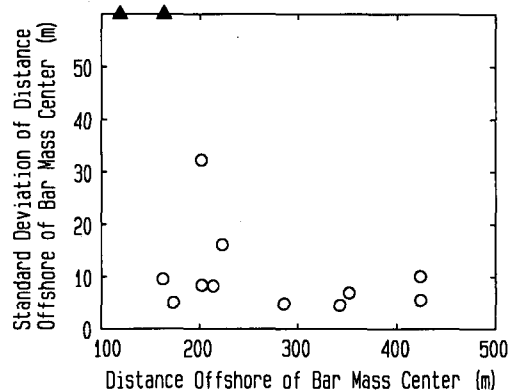
図-4 HORS周辺に形成された砂州の一例
(1989年3月31日測量)

図-5 砂州の重心位置の沿岸方向の標準偏差とHORS直下での砂州の重心位置(▲印は、砂州が7測線中3測線以下でしか認められなかった場合を示しており、その場合標準偏差は計算されていないので、縦軸の値には意味がない。)

20分間取得されており、解析対象期間の1日平均のエネルギー平均沖波有義波高の経時変化は図-6に示す通りである。本研究では、解析対象期間を、波高1.2mを境として静穏時、荒天時の計26期間に分け、それぞれの期間のエネルギー平均の沖波有義波高、周期を求め、この沖波諸元をHORS沖の入力条件として波浪変形計算を行った。なお、荒天あるいは静穏の継続時間が2日以下の期間は解析対象から外した。

計算に用いた栗山・尾崎(1995)のモデルは、沖の入力データとして一波毎の波高、周期を必要とする。そこ

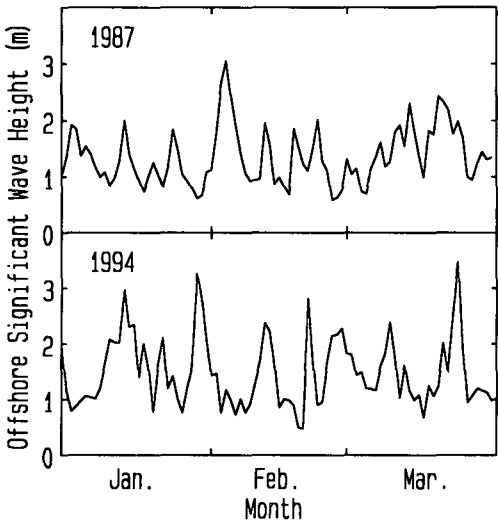


図-6 エネルギー平均沖波有義波高の経時変化

で、沖波有義波高、周期を入力条件とし、JONSWAP型に基づいた600 sの水位データを作成し、このデータをゼロダウンクロス法によって解析し、一波毎の波高、周期を求めた。

波高計設置水深からHORS先端までの断面は、前述の深浅測量データの中のHORSに沿った測線で得られたデータを基に仮定した。図-7は、HORSに沿った測線で観測された断面の、沖方向距離320 mからHORS先端(沖方向距離385 m)までの間の海底勾配が順勾配であった場合と逆勾配であった場合の平均断面と標準偏差を示したものである。HORS先端より沖では地形変化が小さく、沖方向距離390 mから800 mまでの断面は、沖方向距離320 mからHORS先端までの間の海底勾配が順勾配であった場合と逆勾配であった場合とではっきり分かれる。そこで、波浪変形計算における沖方向距離390 mから800 mまでの断面として、HORSで観測された断面の沖方向距離320 mからHORS先端までの間の海底勾配が順勾配であった場合には図-7の実線を仮定し、逆勾配であった場合には破線を仮定した。それより沖の地形は、加藤ら(1991)にならい、沖方向距離800 mから1300 mまでは、海底勾配を1/122とし、それより沖は、1/137とした。

波浪変形計算での格子間隔は10 mで、水位は平均潮位(D.L.+0.7 m)とした。

表-1に各ケースのエネルギー平均沖波有義波高 H_0 と周期 T_0 、碎波波高 H_b 、砂州頂部の碎波率 $(Q_b)_c$ および砂州の移動速度 V_b (沖向き移動が正の値)を示す。碎波波高は解析対象砂州上の碎波領域(breaker zone)における最大有義波高と定義した。したがって、解析対象砂州よりも沖の砂州で碎波が生じている場合には、 H_b は

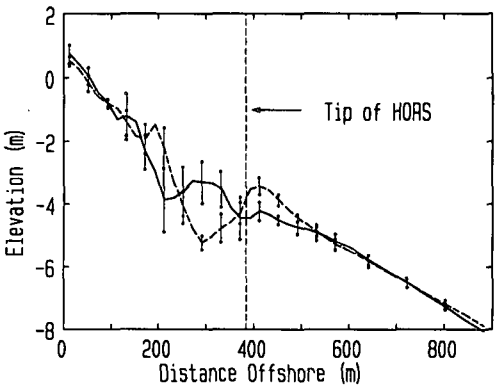


図-7 沖方向距離320 m〜380 mの海底勾配が順勾配であった時の平均断面(太実線)と標準偏差(垂直な細実線)および逆勾配であった時の平均断面(破線)と標準偏差(細実線)(標準偏差は全測点の1/4の点でしか表示されていない。)

表-1 各ケースの波浪諸元と砂州の移動速度

ケース	H_0 (m)	T_0 (s)	H_b (m)	$(Q_b)_c$	V_b (m/day)
1	1.42	8.49	1.36	0.66	5.58
2	1.02	7.08	1.29	0.30	-0.11
3	1.61	9.80	1.97	0.59	-5.53
4	0.97	6.81	1.12	0.07	-0.01
5	1.55	7.74	1.38	0.54	3.11
6	0.90	7.87	1.17	0.08	-1.22
7	2.45	9.59	1.70	0.90	10.52
8	1.02	8.00	1.25	0.01	-0.03
9	0.91	6.19	0.98	0.01	0.64
10	1.49	7.10	1.70	0.17	0.38
11	1.53	7.58	1.75	0.22	-0.81
12	0.94	7.48	1.17	0.03	-0.38
13	1.45	6.69	1.63	0.16	-0.19
14	1.84	7.80	1.90	0.38	3.22
15	1.96	8.02	2.08	0.46	1.55
16	1.11	6.94	1.16	0.22	0.29
17	2.08	8.55	1.56	0.65	-0.41
18	1.37	8.70	1.62	0.51	1.96
19	2.00	9.10	2.07	0.70	-1.52
20	0.95	7.52	1.27	0.30	-1.04
21	1.85	9.64	1.66	0.82	0.13
22	1.37	6.91	1.30	0.57	0.67
23	1.95	10.18	1.79	0.77	2.65
24	1.69	8.38	1.55	0.69	0.17
25	0.99	6.05	1.23	0.13	-0.02
26	1.97	8.44	1.84	0.62	0.32

H_0 よりも小さくなる。表中、ケース1〜15までが1987年のデータで、ケース16〜26までが1994年のデータである。

4. 砂州の移動方向と波浪諸元との関係

前述したように、本研究では、碎波位置や砂州頂部の波浪諸元を用いて砂州の移動方向を検討した。砂州の移

動方向と波浪諸元との関係を調べた過去の研究のうち、砂村・丸山 (1986) は碎波位置における波浪諸元を用いているのに対して、Larson・Kraus (1992) と Sunamura・Takeda (1993) は、沖波諸元を用いている。多段砂州の場合、沖波が同じであっても、それぞれの砂州に作用する外力が異なるためその移動特性も異なる可能性がある。すると、砂州の移動を検討するには、沖波よりも碎波位置における波浪諸元を用いる方が適当であると考えられる。よって、本研究では、碎波位置や砂州頂部の波浪諸元を用いて砂州の移動特性を検討した。

検討に用いたパラメーターは、砂村・丸山 (1986) によって砂州の移動方向と強い相関を持つことが示されたパラメーター K_b と砂州頂部における碎波率 $(Q_b)_c$ である。パラメーター K_b は次式で表される。

$$K_b = H_b^2 / (g \cdot T^2 \cdot d) \quad (1)$$

ここで、 g は重力加速度、 T は周期、 d は底質の中央粒径である。本検討では、 $(Q_b)_c > 0.05$ のケースを解析対象とし、底質の中央粒径は 0.18 mm とした。

パラメーター K_b 、 $(Q_b)_c$ と砂州の移動方向との関係を図-8 に示す。図中の○印は砂州の移動速度が沖向きに 1 m/day 以上のケースを、▲印は移動速度が岸向きに 1 m/day 以上のケースを、●印は、それ以外、すなわち砂州がほとんど動かなかったケースを示している。

現地では K_b の値が 20 以上であると砂州は沖側に移動することが、砂村・丸山 (1986) によって示されている。確かに、 $K_b > 20$ であると多くの場合で砂州は沖側に移動している。しかし、砂州の移動は K_b の値だけでなく、砂州頂部の碎波率とも強く関連している。すなわち、同じ K_b であっても、 $(Q_b)_c$ が大きいほど沖側移動の傾向

が強く、図中の実線で示される式

$$K_b \cdot (Q_b)_c = 10 \quad (2)$$

を境として、砂州が沖に移動するケースと安定、もしくは岸に移動するケースに大別される。 $K_b \cdot (Q_b)_c > 10$ であっても砂州が沖に移動せず、安定、さらには岸に移動するケースもあるので、式 (2) を砂州の移動方向を判別する式として使うには無理があるけれども、砂州が沖へ移動するケースは、 $K_b \cdot (Q_b)_c > 10$ の条件でしか生じておらず、砂州の沖側移動の限界を示す式としては、式 (2) が使えると言える。

ところで、式 (2) に含まれている砂州頂部における碎波率の推定にはやや手間のかかる数値シミュレーションを必要とする。そこで、次に、より簡便に砂州の沖側移動の限界を求める方法を検討した。Thornton・Guza (1983) によると一様勾配斜面上では碎波率と波高水深比との相関は強い。砂州頂部より沖であれば同様の結果が得られると考え、本研究でのデータを用いて、砂州頂部の有義波高と水深との比の二乗 $(H/h)_c^2$ と砂州頂部での碎波率との関係を調べた。

図-9 は、その結果を示したもので、 $(H/h)_c^2 < 0.5$ では $(H/h)_c^2$ は $(Q_b)_c$ よりやや大きいものの、両者の相関は非常に強い。そこで、 $(Q_b)_c$ の代わりに $(H/h)_c^2$ を用いて砂州の移動方向を検討し、その結果を図-10 に示した。

$(Q_b)_c$ を用いたときに比べると、砂州の沖側移動と安定・岸側移動との境界がはっきりしなくなっているけれども、砂州の沖側移動は図中の実線

$$K_b \cdot (H/h)_c^2 = 10 \quad (3)$$

よりも上方で生じており、砂州の沖側移動の限界を示す式 (2) の簡易式として、式 (3) が使うことができると言える。

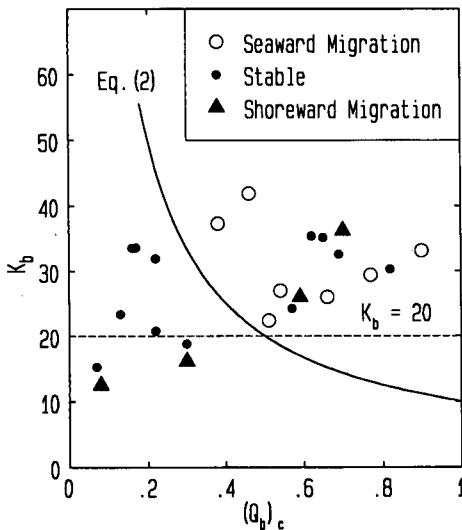


図-8 砂州の移動方向と K_b 、 $(Q_b)_c$ との関係

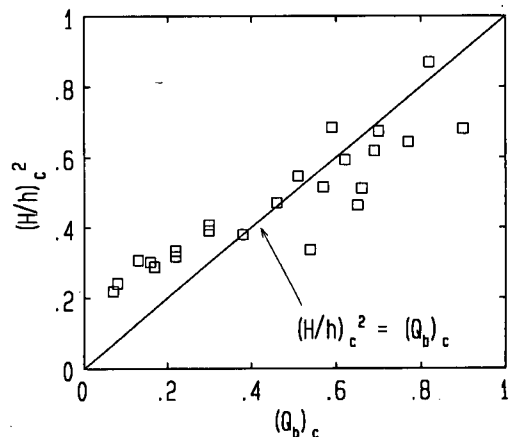


図-9 $(H/h)_c^2$ と $(Q_b)_c$ との関係

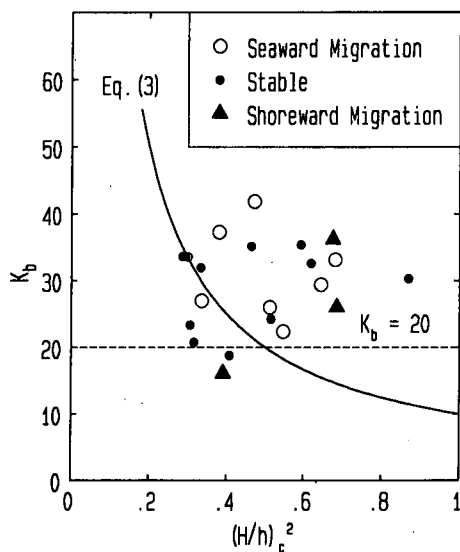


図-10 砂州の移動方向と K_b , $(H/h)_c^2$ との関係

5. おわりに

本研究の結論は、以下の通りである。

- (1) 砂州の移動方向は、碎波波高や周期、底質粒径だけでなく、砂州頂部における碎波率との関連も強く、砂州の沖への移動限界条件は式(2)で表される。
- (2) 碎波率は、波高水深比との相関が強いので、式

(2) の簡易式として、式(3)が使える。

最後に、現地観測を手伝って下さった漂砂研究室のメンバー、鹿島港の沖波データを提供して下さいた運輸省第二港湾建設局 鹿島港工事事務所、当所 海象調査研究室に感謝の意を表します。

参考文献

- 加藤一正・中村聡志・池田直太 (1991): 波の連なりを考慮した長周期波の波高の推定—波崎海洋研究施設における現地観測にもとづく検討—, 港研報告, 第30巻, 第1号, pp. 137-163.
- 栗山善昭・尾崎 靖 (1995): 沿岸砂州周辺の碎波率分布, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 96-100.
- 砂村継夫・丸山康樹 (1986): 沿岸砂州の動きからみた二次元地形応答特性, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 272-276.
- Larson M. and N. C. Kraus (1992): Dynamics of longshore bars, Proc. 23rd ICCE, pp. 2219-2232.
- Mulder J. P. M., J. van de Kreeke and P. van Vessum (1994): Experimental Shoreface Nourishment, Terschelling (NL), Proc. 24th ICCE, pp. 2886-2899.
- Murray R. J., D. A. Robinson and C. L. Soward (1994): Southern Gold Coast Beach Nourishment Project: Implementation, Results, Effectiveness, Terra et Aqua, No. 56, pp. 12-23.
- Sunamura T. and I. Takeda (1993): Bar movement and shoreline change: Predictive relations, J. Coastal Res., No. 15, pp. 125-140.
- Thornton E. B. and R. T. Guza (1983): Transformation of wave height distribution, J. Geophys. Res., Vol. 88, No. C10, pp. 5925-5938.