

# 砕波帯外に誘起される渦列

## A ROW OF VORTICES IN AN OFFSHORE ZONE

松永信博\*・栗谷陽一\*\*・竹原幸生\*\*\*

By Nobuhiro MATSUNAGA, Yoichi AWAYA and Kosei TAKEHARA

It has been found experimentally that a row of two-dimensional vortices forms in an offshore zone when surface waves climb up a sloping flat bed. The vortices occur near the separation point of the Stokes layer, i. e., near the breaking point, and are transported in the offshore direction. Performing the vortex pairing, the vortices increase their length scales offshorewards. They are nearly equal to the local depth of water. In the case when the slope of the bed from the horizontal is  $2.44^\circ$ , the row of vortices appears when  $h_b/L_b \leq 0.096$ . Here,  $h_b$  and  $L_b$  are the mean water depth and the wavelength at the breaking point, respectively.

Keywords: nearshore currents, vortical motion, shear instability

### 1. 緒言

沿岸域における底質の浮遊・運搬機構を解明するため、最近では砕波帯内の定常流や乱れの特性が、実験的に活発に調べられている。著者の1人は、海浜に入射してきた波が砕波する直前に底質がかなり浮遊することを見出し、この底質の巻き上がり機構について実験的研究を行った<sup>1)</sup>。その結果、砕波帯付近では波動による岸向き定常流れと強いリターン・フローとが衝突するため、砕波直前で振動境界層が剥離し、バックウォッシュ・ボルテックス<sup>2),3)</sup>が形成され、底質がその渦によって巻き上げられることが明らかとなった。さらに、砕波点から沖に向かって水面に沿って移流する渦列が誘起されることも指摘された。

本論文では、この渦列の定性的特性とその発生条件を可視化手法を用いて明らかにする。

### 2. 実験装置および実験方法

実験には、全面透明アクリル板で作られた長さ12m、

深さ0.4m、幅0.15mの水槽を用いた。水槽の一端には、フラッター・タイプの造波機を取り付けた。造波板の振動周期  $T$  は、0.5秒から2.6秒まで自由に変えることができた。水槽の他端に設置した斜板の長さは8.5mあり、斜板の沖側の端から岸側2.6mの地点をA点とし、岸方向に0.5mの間隔でB, C, D, …と記号を付けた。今回の実験では、斜板の勾配  $\theta$  を  $2.44^\circ$  に固定した。

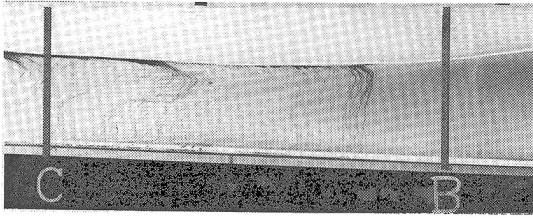
水平床における平均水深は、27.0cmから31.0cmの間で変えられた。砕波形態はspilling型からplunging型、そしてsurging型にわたる広範囲で実験を行った。波動場が、ほぼ定常状態に達した後、流れを可視化するためのトレーサーとしてアニリン・ブルー粒子を水表面に散布することによって、砕波帯外の流れのパターンを観察した。流れのパターンは、水槽に対して固定された35mmカメラを用いて撮影された。すべての写真において左側が岸である。

渦列の形成条件を明らかにするため、砕波点における波高  $H_b$ 、波長  $L_b$ 、平均水深  $h_b$  を測定した。波高は、1本の容量式波高計を砕波点に設置することによって測定された。また、波長は2本の波高計を既知の間隔で砕波点付近に設置し、出力をペン・レコーダに出力させ、水面変化の位相差により算定された。砕波点における平均水深としては、静止状態におけるその点の水深を用いた。

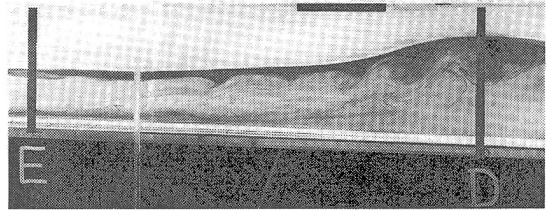
\* 正会員 工博 九州大学助手 工学部水工土木学科  
(〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1)

\*\* 正会員 工博 九州大学教授 工学部水工土木学科(同上)

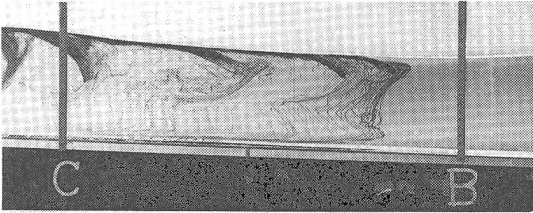
\*\*\* 学生会員 九州大学工学研究科修士課程(同上)



(a)



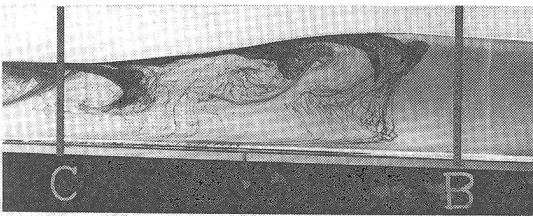
(a)



(b)



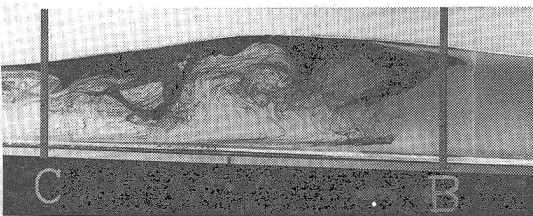
(b)



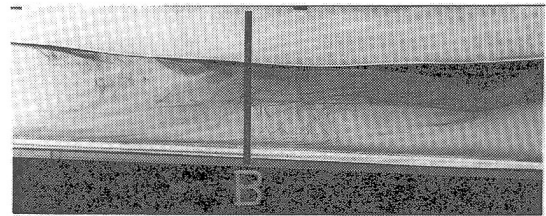
(c)



(c)



(d)



(d)

写真—1 渦列の形成過程

[(a):  $t=3$  秒, (b):  $t=27$  秒]  
[(c):  $t=43$  秒, (d):  $t=60$  秒]

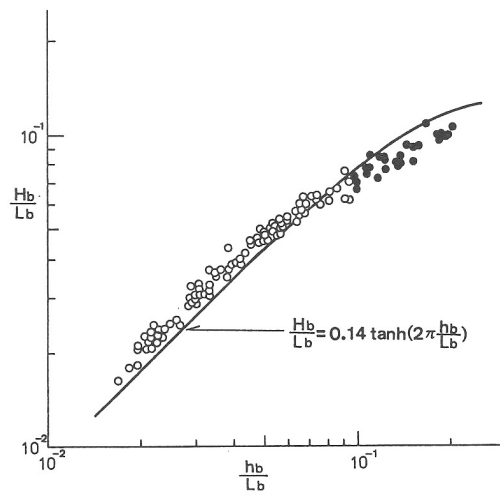
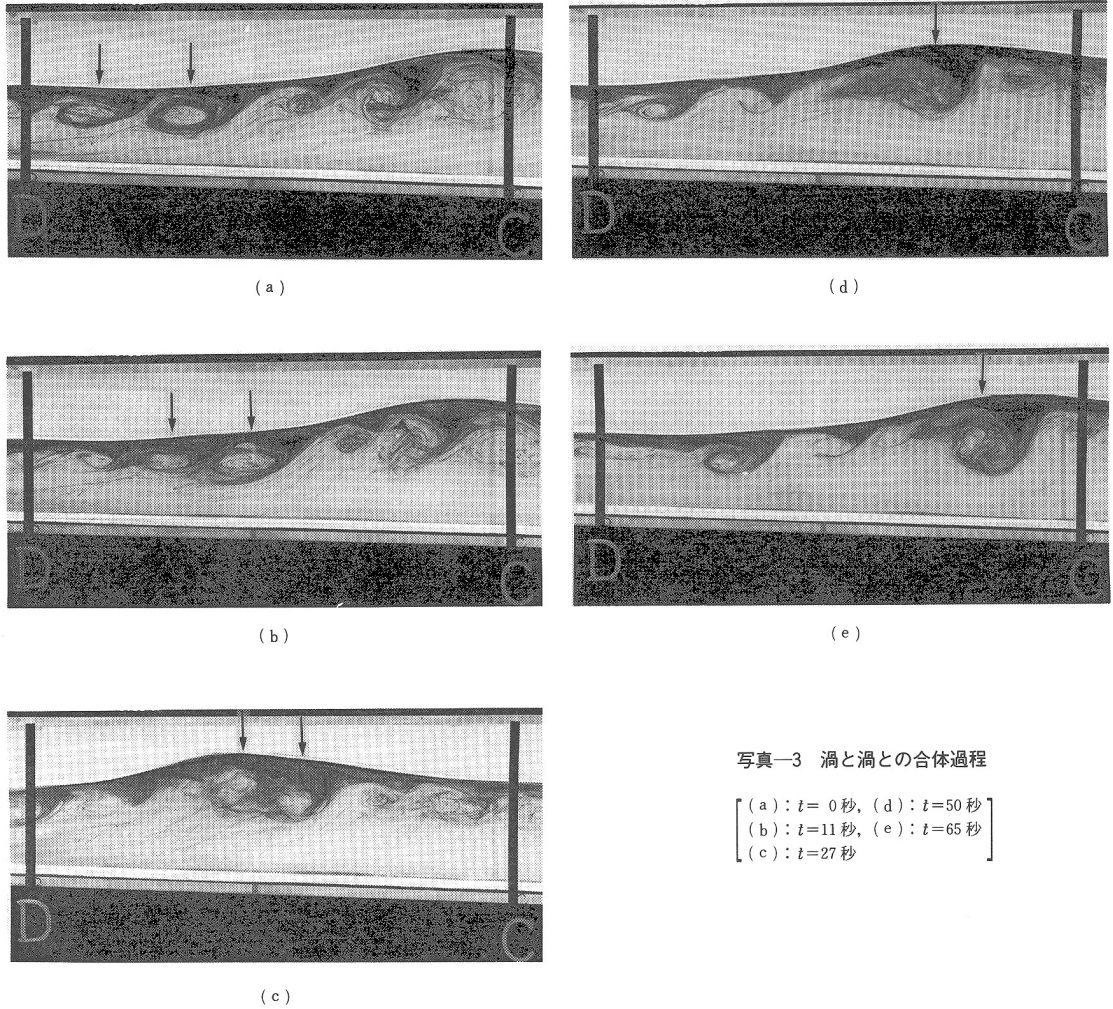
写真—2 渦列の流下方向のパターン

なお、渦列の動態を写真撮影した実験においては  $T=1.06$  秒であり、砕波点での特性量は  $H_b=5.6$  cm,  $L_b=89$  cm,  $h_b=5.0$  cm であった。

### 3. 実験結果および考察

写真—1(a) から (d) は、水表面に散布されたトレーサーが沈降し、形成したある種のタイム・ラインが変形する過程を示したものである。 $t$  は、トレーサー散布後

の経過時間を示す。写真—1(a) は、 $t=3$  秒におけるパターンで、底面近傍では岸向きの定常流が、水表面付近はそれを補う沖向きの流れが形成されていることがわかる。写真—1(b) ではタイム・ラインがかなりゆがめられ、前述した定常流の様子が明瞭となっている。写真—1(c) ではタイム・ラインはさらに変形し、渦列の形成が認められる。写真—1(d) で示されるように、 $t=60$  秒においてタイム・ラインは渦列の形成を明瞭に示して



図—1 渦列の発生条件

いる。

写真—2(a) から (d) は、砕波点より沖側における渦列のパターンを示したものである。E, D, C, B 点における水深はそれぞれ 7.9, 10, 12, 14 cm であり、砕波点は E 点よりも岸側 0.68 m のところであった。写真—2(a) で示されるように、区間 ED ではトレーサーが波打ち始めており、定常流が不安定になり始めていることがわかる。トレーサーが示す波状パターンの波長は約 7.0 cm である。区間 DC では明瞭な渦列が形成されている。DC 間における渦の間隔は約 9.0 cm である。区間 CB において渦の間隔は約 16 cm に達し、水深の増加とともに渦の間隔も増加することがわかる。しかしながら、写真—2(d) で示されるように、B 点付近より沖側では渦列はすでに崩壊しており、水表面付近ではただ冲向きの定常流のみが形成されている。

写真—3(a) から (e) は、形成された渦が合体しながら渦の間隔を増加させ、沖に向かって移流していく様子を示したものである。ここで、 $t$  は写真—3(a) が撮影された後の経過時間である。写真—3(a) において矢印で示された 2 つの渦は、沖方向に輸送されながら写真—3(b), (c) で示されるように互いに接近し、そして写真—3(d), (e) においては前方の渦が後方の渦を連行吸収する過程が明瞭に観察される。

これまで可視化された流れのパターンに基づいて砕波点より沖側で形成される渦列に関する定性的特徴をまとめると次のとおりである。Bagnold<sup>4)</sup> や Longuet-Higgins<sup>5)</sup> らによって明らかにされた底面近傍での岸向き定常流と、それを補う水表面付近に生じる沖向き定常流との間のせん断不安定によって発生した渦は、互いに合体を行いながら、そしてその間隔を水深程度に保ちながら沖向き流れに乗って輸送される。そして、渦は定常流のせん断率が減少するところで崩壊するようである。

この渦列は、砕波点付近で形成し始めることがすでに報告されている<sup>1)</sup>。したがって、渦列の発生条件は砕波点における特性量  $H_b$ ,  $L_b$ ,  $h_b$  とかなり密接に関係して

いると考えられる。この考えに基づいて渦列の発生条件を示したのが、図—1 である。図中の黒塗り丸印は、砕波点の沖側全領域にわたって渦列が形成されなかったことを示し、白抜き丸印は砕波点よりも沖側のどこかで渦列が観察されたことを意味している。実線は Miche<sup>6)</sup> によって提案された  $h_b/L_b$  と  $H_b/L_b$  との関係である。測定結果は Miche の関係式とわずかに異なっているが、両者の間にはほぼ類似の傾向が認められる。この図より、渦列は  $\theta = 2.44^\circ$  の場合  $h_b/L_b \leq 0.096$  において発生することがわかる。今後、渦の長さスケールや移流速度に関する定量化ならびに、これら特性量の  $\theta$  に関する依存性を明らかにしていく予定である。

最後に、本研究を進めるにあたり適切な助言を下された九州大学教授 本地弘之先生ならびに助教授 小松利光先生に深く感謝致します。実験において、並川 正氏 (鹿島建設) ならびに榎村康史氏 (建設省) の多大な助力を得たことを感謝致します。また、本研究を行うにあたって、服部報公会の工学研究奨励援助を受けたことを付記する。

#### 参 考 文 献

- 1) 松永信博・並川 正・柴田敏彦・榎村康史：一様勾配斜面上での砕波による乱れ特性，第 33 回海岸工学講演会論文集，pp. 21～25，1986。
- 2) Matsunaga, N. and Honji, H. : The backwash vortex, *J. Fluid Mech.*, Vol. 99, part 4, pp. 813～815, 1980.
- 3) Kaneko, A. : Formation of beach cusps in a wave tank, *Coastal Engineering*, Vol. 9, pp. 81～98, 1985.
- 4) Bagnold, R.A. : Sand movement by waves : Some small-scale experiment with sand of very low density, *J. Institution Civil Engineers*, Vol. 27, pp. 447～469, 1947.
- 5) Longuet-Higgins, M.S. : Mass transport in water waves, *Phil. Trans. Roy. Soc. (London)*, Series A, Vol. 245, No. 903, pp. 535～581, 1953.
- 6) Miche, R. : Mouvements ondulatoires de la mer, *Annale Ponts et Chaussées*, Vol. 114, pp. 25～78, 1944. (1987. 9. 22・受付)