

巻き砕波の下の流れと地形に関する二, 三の実験

金子, 新
九州大学応用力学研究所 : 助教授

白石, 洋二

<https://doi.org/10.15017/4743656>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 57, pp.187-198, 1982-10. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



巻き砕波の下の流れと地形に関する二、三の実験

金子 新* 白石 洋二†

概 要

一様な傾斜底面をもつ造波水槽中で発生した巻き砕波の下の流れを、鋸くずをトレーサー粒子として用いることによって可視化した。その結果、砕波点直下には底面に沿って顕著な渦構造が誘起されること、および同地点で形成された汀線に平行な step 状の海底地形がこの渦の作用に起因することが明らかとなった。

Key words: Coastal region, Breaking waves, Longshore bar, Flow visualization

1. 緒 言

外洋で生じた風波 (wind wave) やうねり (swell) が、比較的緩やかな海底勾配をもつ海岸に接近する時、水深の減少にともない漸次波形勾配を増しついに砕波することになる。このような海岸では、砕波帯 (breaker zone) は沿岸域 (coastal region) 全体の流れや地形変化を規定する主因であると考えられてきた¹⁾²⁾。そして、砕波帯の下には沿岸砂州 (longshore bar) という特徴的な海底地形が普通に形成されている。沿岸域の流れや砂移動は、沿岸砂州の規模や形状と密接に関連するわけであるが³⁾⁴⁾、その形成機構は未だ明確にされてなく今後の課題として残されている⁵⁾。このことは、砕波帯の下に誘起される流れが、気泡の混入や砂粒子の巻き上げ等によって非常に乱れており、実験室内においてさへもその実態を正確に把握することが困難であることに原因しているようだ⁵⁾。また、最近では計測技術の進歩にともない種々の流速計を用いた砕波帯内の流れ場の計測が行なわれるようになったが^{6)~9)}、これらの手法では多点での流速の同時測定が困難であるため流れ場の微細構造を十分に把握することができない。

本論文の目的は、波動水槽中で生じられた巻き砕波 (plunging breaker) の下の流れ場を流れの可視化技術を用いて詳細に観察し、その結果を底地形の変化と比較検討することによって沿岸砂州の形成機構について考察することにある。

2. 実 験

実験は、図 1 に示すような 300×50×20 cm の寸法をもつ小型造波水槽を使用して行なった。波はフラッター型の造波装置によって起こされた。plane beach を構成するために長さ 200 cm の傾斜板を

* 九州大学助教授, 応用力学研究所

† 文部技官, 九州大学応用力学研究所

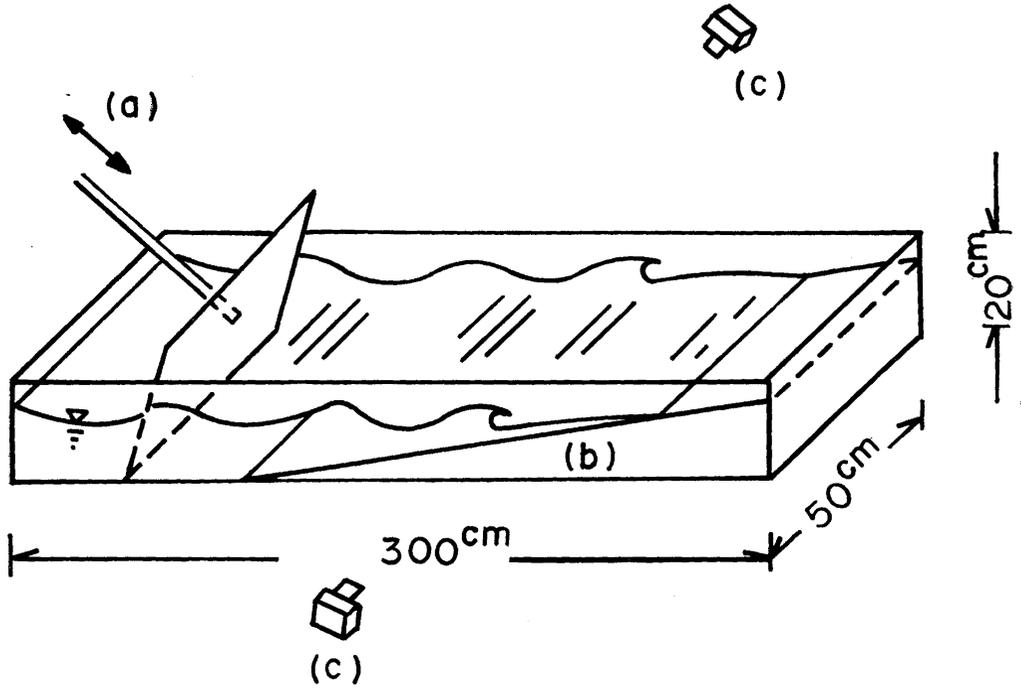


図1 実験装置
(a) 造波機 (b) 傾斜底板 (c) カメラ

用いており、底勾配 s はすべての実験をとおして $1/21$ に固定している。実験は、表1に示すような諸元をもつ一種類の入射波についてのみ行なった。

表1 入射波の諸元

碎波波高 H_b [cm]	碎波水深 h_b [cm]	周期 T [sec]
2.8	3.2	1.7

Galvin¹⁰⁾ は、碎波を次のような指標によって分類することを提案している。

$$\beta = \frac{H_b}{gsT^2} \quad (1)$$

本実験で用いた底勾配と入射波の諸元を(1)式に代入すれば $\beta=0.02$ となり、本実験条件が巻き碎波(plunging breaker)の領域に入ることがわかる。また、plane beach 上での碎波の発生条件を与える指標としては次式が知られている。

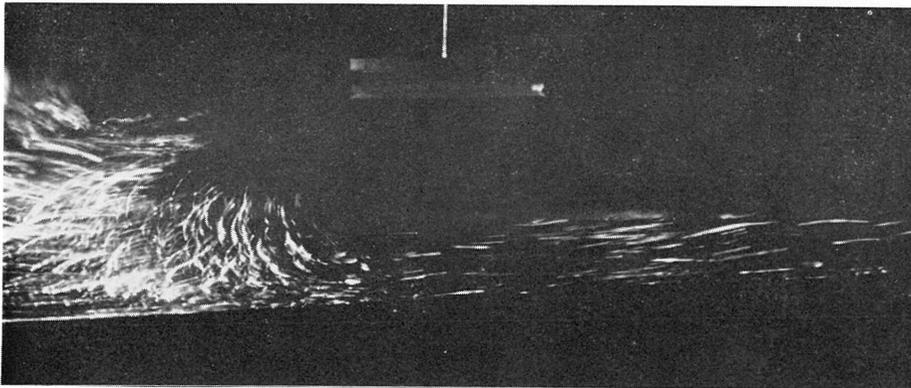
$$r = \frac{H_b}{h_b} \quad (2)$$

r はまた碎波帯内の wave set-up¹²⁾ や沿岸流(longshore current)²⁾ を規定する重要なパラメータでもある。本実験においては、 $r=0.88$ となり従来の測定値と比較しても妥当な値となっている。碎波

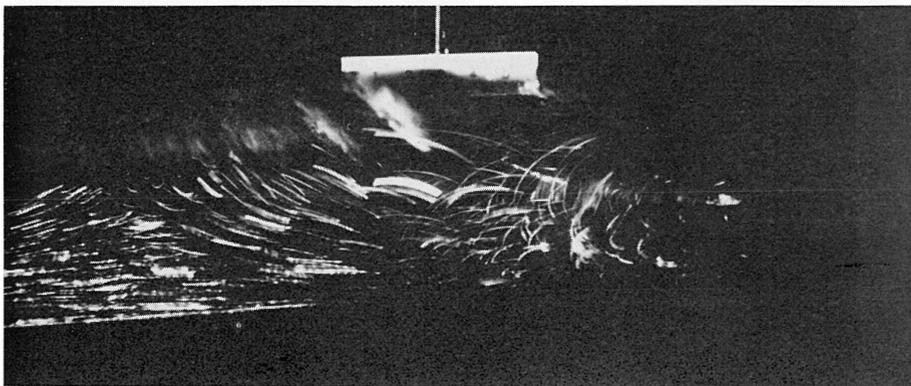
にもなって誘起される流れ場の可視化は、水中に浮遊する鋸くずをトレーサー粒子としてその描く流線模様を水槽側面の透明なアクリル板をとうして写真撮影することによってなされた¹³⁾。砕波帯周辺の地形変化を調べる際には、平均粒径 $D=0.028$ cm, 密度 $\rho_s=2.43$ g/cm³ のガラス・ビーズを傾斜底面上に薄く敷き詰めた。そして、砕波の作用下での底地形の逐時変化を水槽側面と水槽上方とから観察した。

3. 結果と考察

写真1は、水槽に対して静止した 35 mm カメラによって水槽側面をとうして写真撮影した、砕波前後の一連の流線模様を示している。写真中では、左手が沖側で右手が岸側である。露出時間はすべての写真について 1/8 sec であった。写真1(a)は砕波直前の流線模様であるが、すでに波の前面は非常に険しくなり、その下では流線模様も対応した反り上がりを示している。写真1(b)は、砕波した水塊が水表面に衝突する直前の流線模様であるが、衝突点近くの流線は曲率を増し時計回りの渦構造を形成しようとしている。また、砕波波形の背後には重複波 (standing wave) の流線模様に類似したパ



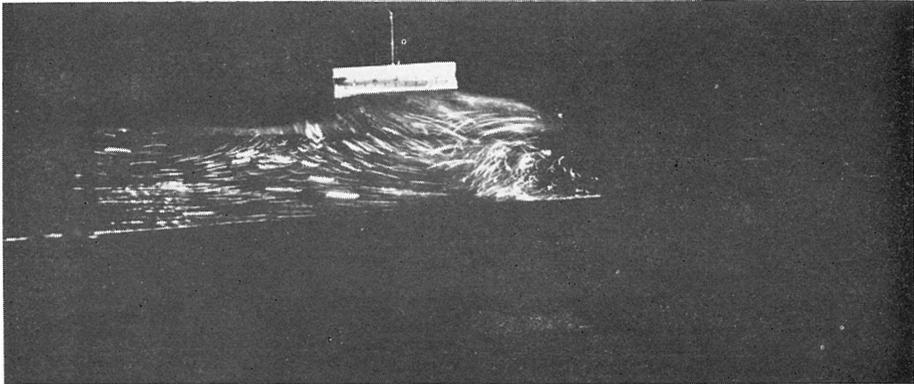
(a) 砕 波 前



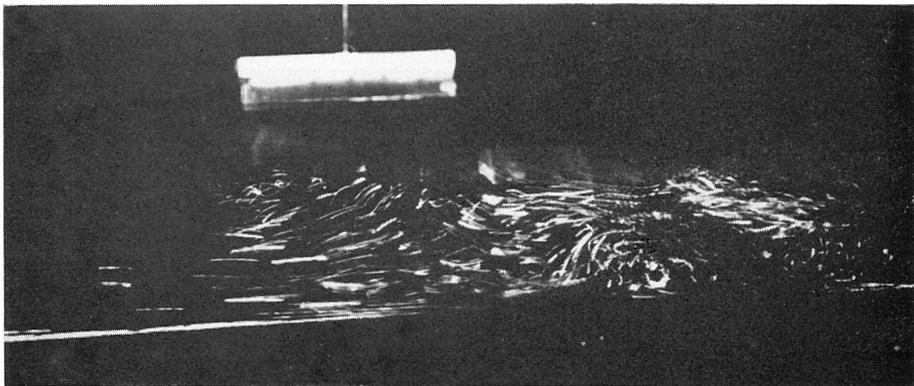
(b) 砕 波 時

ターンの存在も認められる。写真1(c)は写真1(b)の直後の流線模様を示しているが、底面に沿って顕著な時計回りの渦が形成されていることがわかる。写真1(d)は、砕波した水塊の衝突後の非常に乱れた状態の流線模様を示しているが、前述の渦は岸方向に移動しているものの依然として認められる。以上の可視化実験の結果をもとに砕波した水塊の衝突前後の瞬間的な流線模様が、図2に模式的に示されている。衝突点の下の時計回りの渦の形成過程がよく理解でき、また渦中心の沖側で底面に沿う流れが収束し上昇し始める位置には、海底砂の集積により特徴的な地形が形成されるものと推定できる。

写真2は、写真1と同じ条件のもとで起こった砕波帯周辺の一連の底地形の変化を示している。実験開始前に $D=0.028\text{ cm}$ 、 $\rho_s=2.43\text{ g/cm}^3$ のガラス・ビーズを、砕波帯近くの底面上に約 0.5 cm の厚さで敷き詰めておく。この時、流れ場の観察も並行して行なうために吸水した鋸くずも一緒に沈積させる。この様子は、写真2(a)に示されている。写真2(b)は、造波開始から $t=1\text{分}43\text{秒}$ における状態を示しているが、浮遊した鋸くずの軌跡より写真1と同様な流線模様が形成されていることがわか

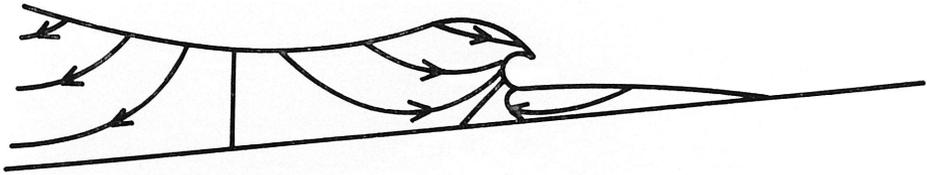


(c) 砕 波 時

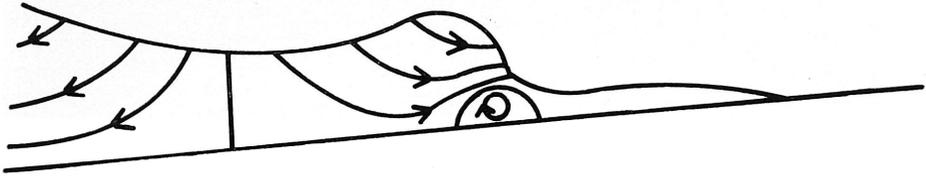


(d) 砕 波 後

写真1 砕波帯周辺の流れ場の可視化
(スケール長さは 6 cm)

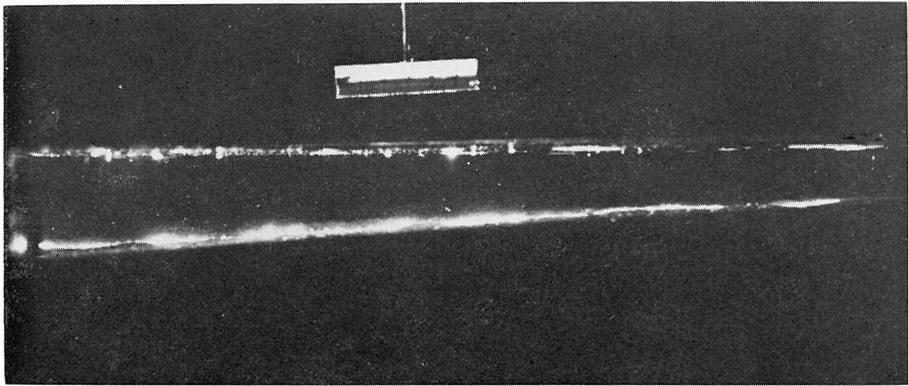


(a) 砕波前

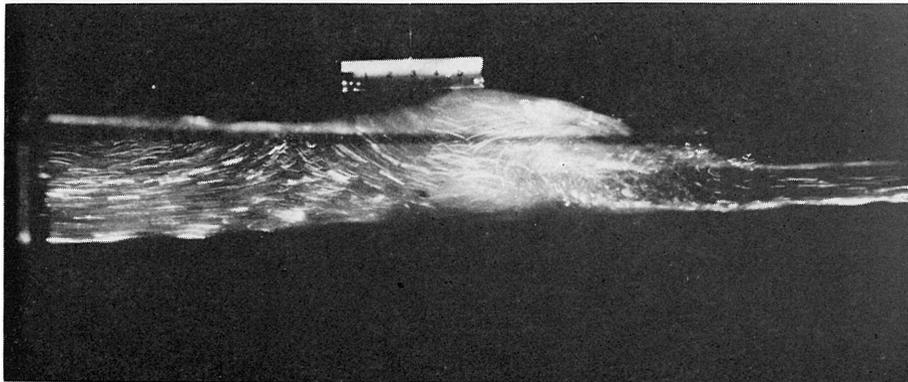


(b) 砕波後

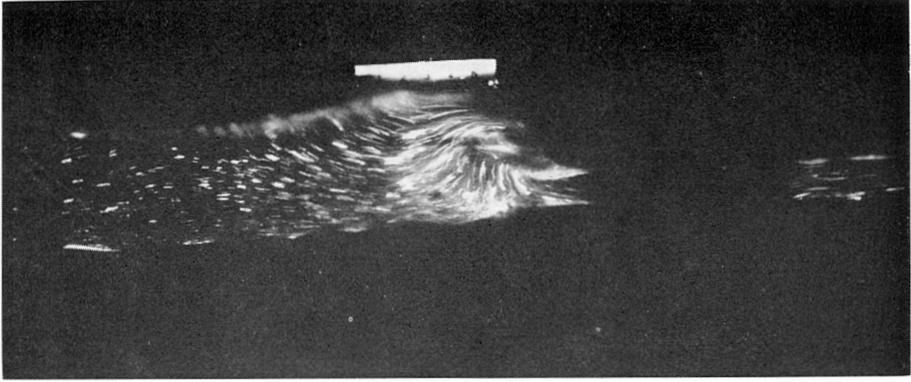
図2 砕波前後の流線模様の模式図



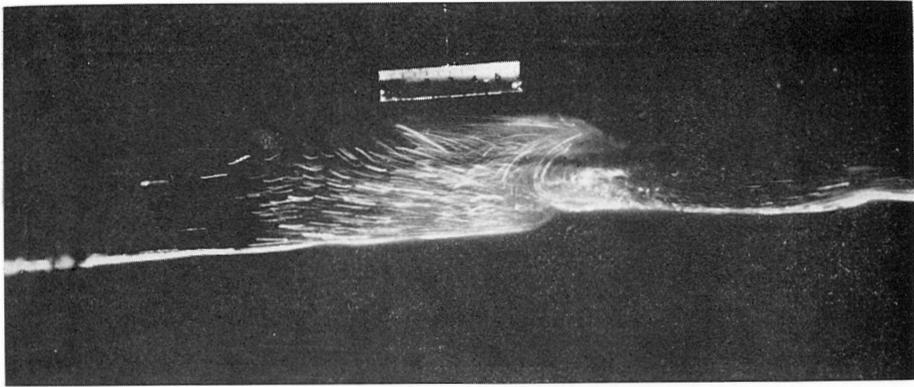
(a) $t = 0$



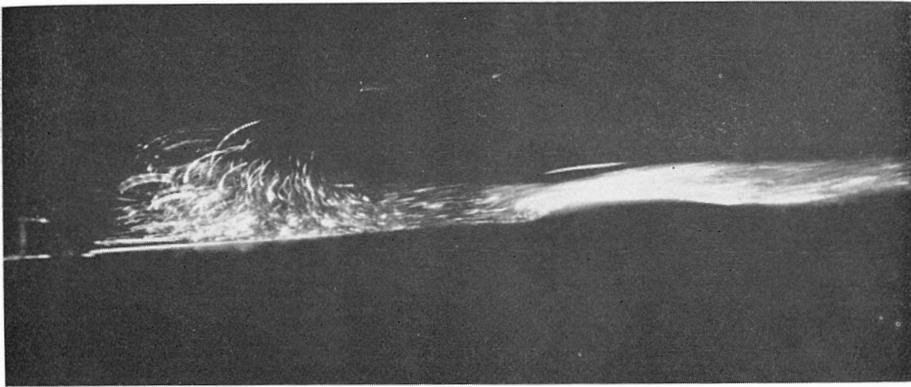
(b) $t = 1分43秒$



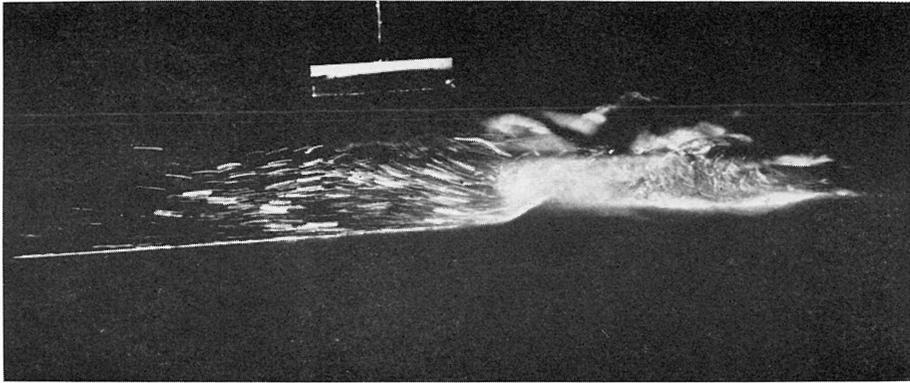
(c) $t = 2\text{分}22\text{秒}$



(d) $t = 4\text{分}27\text{秒}$

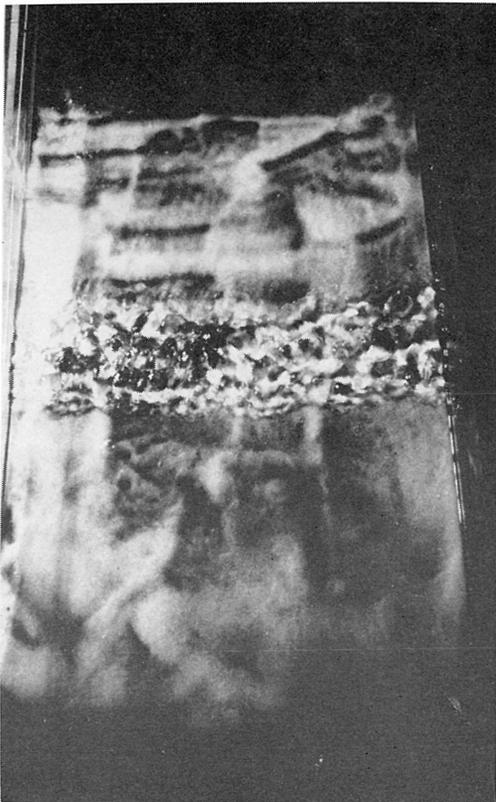


(e) $t = 6\text{分}6\text{秒}$

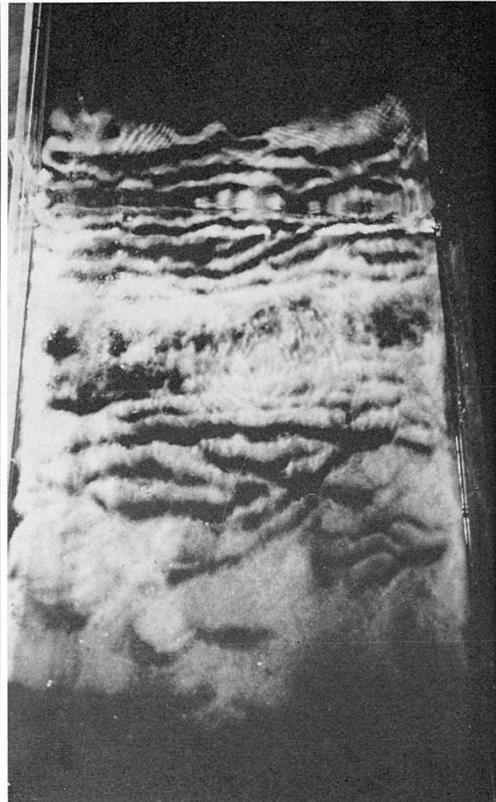


(f) $t = 7$ 分26秒

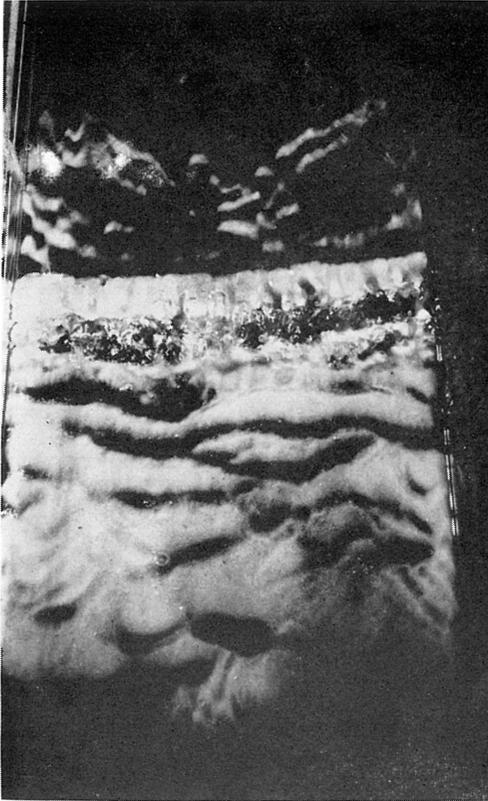
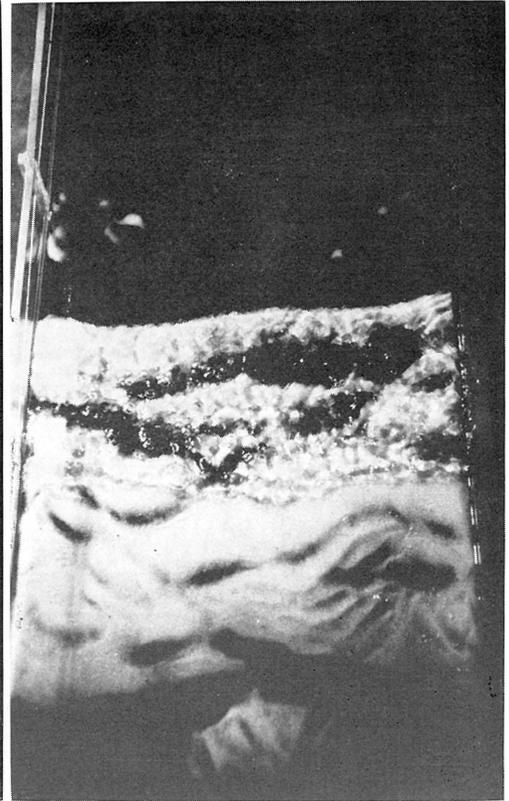
写真2 砕波帯周辺の地形変化(縦断形状)



(a) $t = 13$ 秒



(b) $t = 2$ 分12秒

(c) $t = 5$ 分13秒(d) $t = 10$ 分39秒

る。また、碎波時の乱れにより碎波帯の極近くでは多量のガラス・ビーズが巻き上がっていること、碎波帯の沖側には砂漣 (sand ripple) が形成されていることなどがわかる。時間の経過につれ碎波帯直下には、写真2(d)で認められるような step 状の底地形が明瞭に形成されてくる。写真2(d)は、 $t = 4$ 分27秒における写真である。step の形状は非常に強い非対称性を示しており、緩やかな岸側斜面と非常に急峻でガラス・ビーズの水中安息角に近い沖側斜面とをもっている。step の位置は、写真1(c)の時計回りの渦の位置とよく一致している。写真2(d)で step より沖側の砂漣が消失していることがわかるが、これは砂漣を構成するガラス・ビーズがほとんど step の岸側に運ばれたためである。写真2(e)のように入射波が碎波帯から遠くにある時には、碎波帯周辺は強い戻り流れの作用を受け、step の沖側斜面上には剝離渦が誘起される。step 形状の強い非対称性は、この沖向きの強い戻り流れの存在によって説明されるようだ。写真2(f)は、 $t = 7$ 分26秒における写真である。碎波した水塊が水面に衝突した後の状態であるが、step の存在のために碎波した水塊が広範囲に飛散していること、およびそれに対応して step の岸側の広範囲の領域でガラス・ビーズが巻き上がっていることがわかる。

写真3は、写真2と全く同じ条件のもとでなされた実験を水槽上方から観察したものである。写真中

(e) $t = 31$ 分52秒

写真3 砕波帯周辺の地形変化(平面形状)

では、上が沖側で下が岸側を示す。ガラス・ビーズは、砕波帯の沖側 30 cm の位置から静水時の汀線位置まで概ね一様に敷き詰めている。写真3(a)は造波開始から $t = 13$ 秒後で、未だほとんど変形を受けていない状態のガラス・ビーズ層表面を示している。写真中央部に砕波直後の水表面の様子が示されているが、非常に細かい凹凸によって表面が被われていることがわかる。時間の経過につれ、写真3(b)に示すように砕波帯の沖側には砂漣が、岸側にはスケールの多少大きな底地形が形成され始める。写真3(c), (d)は、それぞれ $t = 5$ 分13秒, 10分39秒における状態を示すが、砕波帯の沖側のガラス・ビーズが岸方向に移動するにつれ汀線に平行に走る step が明瞭となっていく様子がよくわかる。step の沖側のビーズが消失してしまうともはや step へのビーズの供給がなくなるが、step を構成するビーズ自体は引き続き岸側に運ばれるため step は消滅過程に移行することになる。写真3(e)は、step が完全に消滅してしまった後の $t = 31$ 分52秒における状態を示すが、すべてのビーズが汀線近くに集まり前浜(foreshore)を形成している様子がよくわかる。

写真4は、写真3の step 位置に直径 1.6 cm の半円柱を底面に付着させ、写真3と同じ条件のもとで砂移動の様子を観察したものである。造波開始前には、写真4(a)に示すようにガラス・ビーズは半

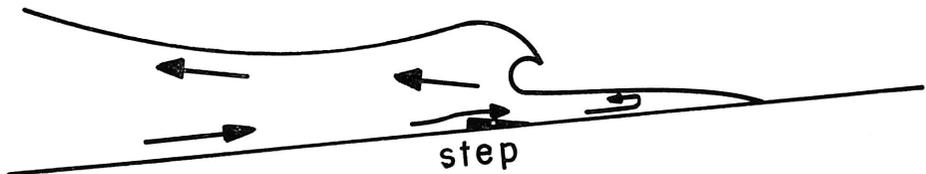
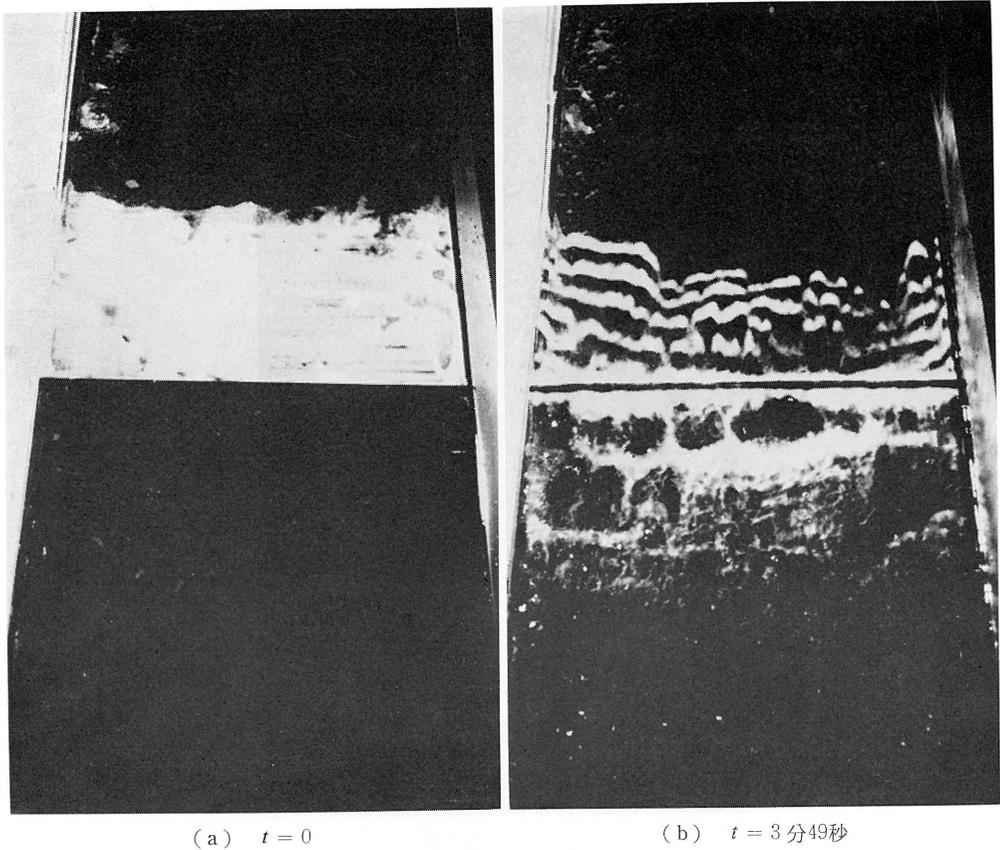


図3 時間平均流速場の模式図

円柱の沖側だけに敷き詰められている。時間の経過につれ、この場合にも、写真3と同様な底地形の変化過程を経ることがわかるが、写真4から step を越えて岸側に向かう砂輸送の様子をより明確に認識できる。写真4(b)に示されるように、半円柱の岸側の底地形には沿岸方向の多少の周期性が認められる。

以上の実験結果を総合的に判断すると、本実験における1周期にわたって時間平均された流れの場は、図3に示されるような鉛直構造を有するものと考えられる。

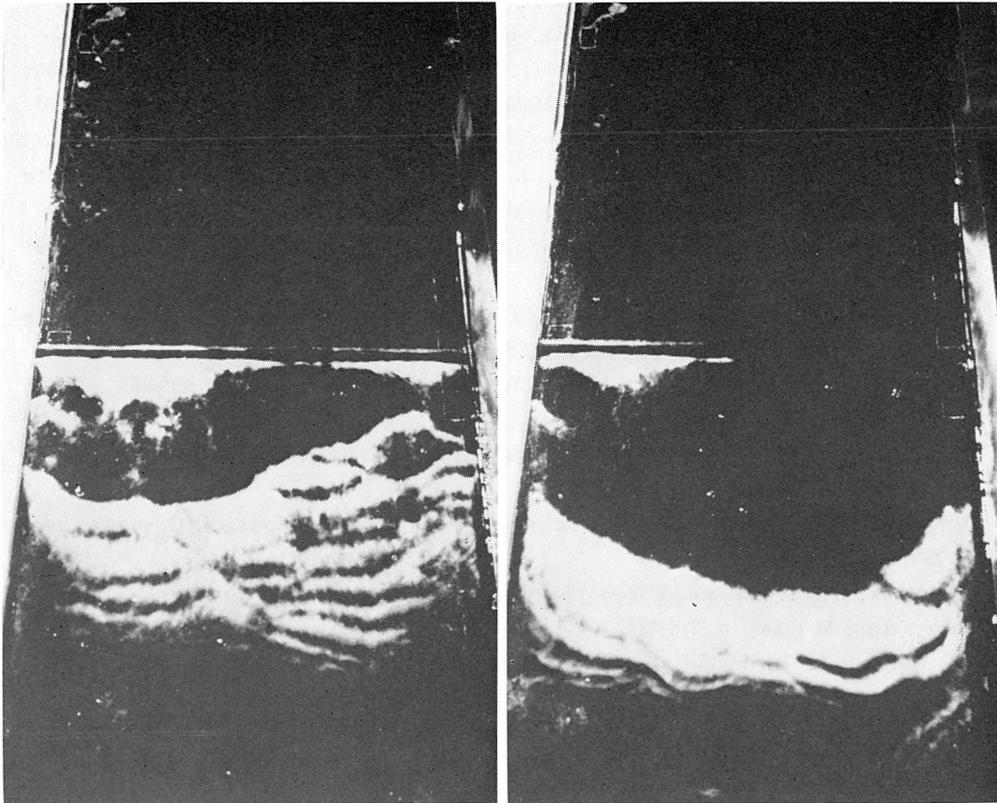
(c) $t = 9$ 分15秒(d) $t = 19$ 分46秒

写真4 半円柱を用いた地形変化の実験

4. 結 語

$\beta=0.02$, $r=0.88$ なる条件をもつ一種類の巻き砕波に対して、砕波点直下に誘起される顕著な渦構造と step 状の底地形との関係が明らかにされた。また、流れ場の観察と海底砂の輸送特性の考察とから時間平均流速場の鉛直構造が決定された。砕波帯内の流れと砂輸送特性が、砕波条件（即ち β , r の値）の違いによってどのように変化するかを調べるのが今後の重要な研究課題である。

謝 辞

本研究を完成する過程で、多くの有益なる御指摘を頂いた本地弘之教授に心から謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 堀川清司：海岸工学（東京大学出版会，1973）p. 191-232.
- 2) Komar, P. D.: *Beach Processes and Sedimentation* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1976) p. 288-324.

- 3) Wright, L. D., Guza, R. T. and Short, A. D.: *Dynamics of a High-Energy Dissipative Surf Zone*, Marine Geology **45** (1982) p. 41-62.
- 4) Goldsmith, V., Bowman, D. and Kiley, K.: *Sequential Stage Development of Crescentic Bars; Hahoterim Beach, Southeastern Mediterranean*, J. Sed. Petrology **52** (1982) p. 233-249.
- 5) Davis, JR. R. A. and Ethington, R. L.: *Beach and Nearshore Sedimentation* (Society of Economic Paleontologists and Mrinealogists, Special Pub. 24, 1976) p. 92-114.
- 6) 酒井哲郎, 三反畑勇: 二次元砕波帯における砕波による乱れの構造, 第28回海岸工学講演会論文集 (1981) p. 15-19.
- 7) 中川武夫, 岩田好一郎, 小山裕文: テンションスレッド流速計により計測された砕波の水粒子速度の計測, 第28回海岸工学講演会論文集 (1981) p. 20-23.
- 8) 灘岡和夫, 近藤隆道, 田中則男: LDA を用いた砕波帯内の流速場に関する実験的研究, 第28回海岸工学講演会論文集 (1981) p. 24-28.
- 9) 泉宮尊司, 堀川清司: 砕波帯における定常流に関する実験的研究, 第28回海岸学講演会論文集 (1981) p. 34-38.
- 10) Galvin, C. J.: *Beaker Type Classification on Three Laboratory Beaches*, J. Geophys. Res. **73** (1968) p. 3651-3659.
- 11) Munk, W. H.: *The solitary Wave Theory and Its Application to Surf Problems*, N. Y. Acad. Sci. Ann. **51** (1949) p. 376-424.
- 12) Bowen, A. J., Inman, D. L. and Simmons, V. P.: *Wave Set-down and Set-up*, J. Geophys. Res. **73** (1968) p. 2569-2577.
- 13) Matsunaga, N. and Honji, H.: *The Backwash Vortex*, J. Fluid Mech. **99** (1980) p. 813-815.

(昭和57年5月29日 受理)