

II-10

砕波後の斜行渦について

北海道大学大学院 ○学生員 安原 幹雄
 北海道大学大学院 正員 渡部 靖憲
 北海道大学大学院 正員 佐伯 浩

1. はじめに

砕波後の流速場において、波峰線に平行な水平軸を持つ2次元な“水平渦”に加え、3次元性をもつ渦構造が発達する。その3次元渦構造の中でも特に“斜行渦”は海底に向かう方向の軸を持ち、また現地観測においても斜行渦によるものと思われる浮遊砂雲の柱状構造が確認されていることから、斜行渦は底質の巻き上げ等の漂砂問題に関わっていると考えられている。

過去に室内造波水路実験において、顕著に確認できる水平渦に加え斜行渦の存在、及びその挙動が、混入気泡の観察により確かめられてきた。特に、造波水槽の側壁近傍で顕著にこの斜行渦が確認されることから、側壁の存在が斜行渦の発達と関係している可能性がある。

著者ら(1999)は、3次元 Large Eddy Simulationにより波の進行方向と平行な側壁を有する計算領域(non-slip条件)において、斜行渦と断定できる旋回性成分を持つ大規模渦構造を確認した。

本研究においては、斜行渦の実海域における3次元流体運動への寄与を解明するための基礎的研究として、同様の3次元 Large Eddy Simulationにより側壁が斜行渦の生成へ与える寄与の有無を調べ、その3次元大規模渦の生成及び発達機構を解明しようとするものである。

2. 数値計算法

著者ら(1998)の適用した低 Reynolds 数補正された非線型渦粘性モデルを用いた3次元 LES と同一の数値計算法により砕波後の3次元流速場を調べていく。計算領域は底面勾配を表現するため水平軸から θ 傾けられた直交座標系(図-1)を採用し、入射波として2次近似のクノイド波が与えられる。水表面の取扱いは Lin・Liu(1998)と同様な0勾配SGS応力が与えられ、水表面は密度関数法により決定される。波浪諸元、数値計算条件は表-1に表される。

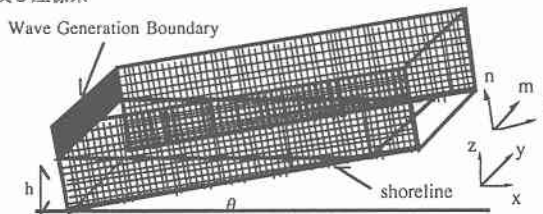
3. 結果と考察

3.1 砕波後の3次元渦の発達構造

表-1 波浪諸元と数値条件

	Breaker Type	U.C. for SGS components on Free Surface	Initial Wave Height, Wave Length	Bottom Slope	Reynolds Number	Time Step Interval, Cnd. Interval	boundary condition
CASE1	spilling	Non Normal Gradient	0.45 H/h 6.67 λ /h	1:20	389830	T/0.24 0.04 λ /h	non-slip
CASE2	spilling		0.45 H/h 6.67 λ /h	1:20			periodic

図-1 計算領域及び座標系



On the obliquely descending eddies in breaking waves
 by Mikio YASUHARA, Yasunori WATANABE, and Hiroshi SAEKI

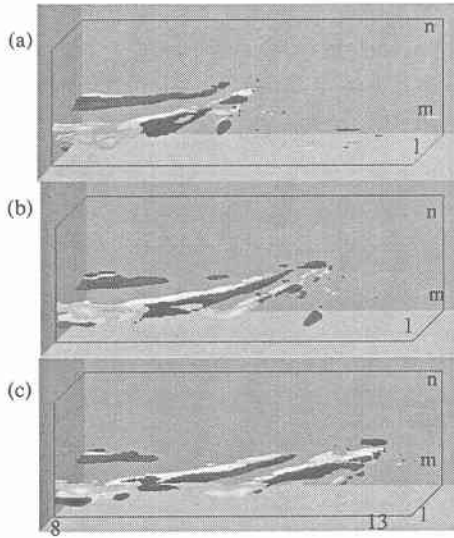


図-2 砕波後の旋回渦成分の等渦度面 (CASE1, (a)~(c)の位相間隔 T/8)

図-2は側方境界をnon-slip条件としたCASE1の砕波後約T/2における著者ら(1999)によって確認された斜行渦の特性を示す旋回渦成分の無次元等渦度面(黒; -.5, 白; +.5)を表している。但し、ここでは計算領域内部の渦構造を把握するため、側壁近傍に発達した渦度を省いている。砕波フロントから斜め下方に伸びる正負の渦度を持った渦管が生成され、砕波フロントの進行に伴って伸張されているのがわかる。またこの渦近傍の流体運動の特性を調べるため、水粒子に追従するマーカーを以下の実質微分に従い数値的に移流させた。

$$\frac{DX(l,m,n)}{Dt} = 0$$

図-3は初期位置として図-2の砕波フロント近傍にセットされたマーカーの移動軌道を表したものである。初期位置がこの旋回渦近傍のマーカーは定性的に同一の旋回軌道を取り、渦管から離れたものはこの様な軌道特性を示さなかった。

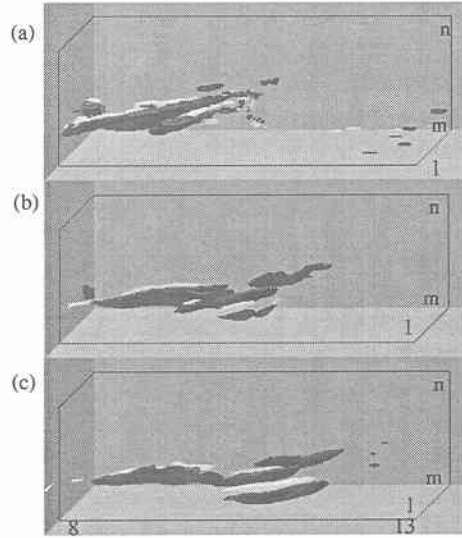
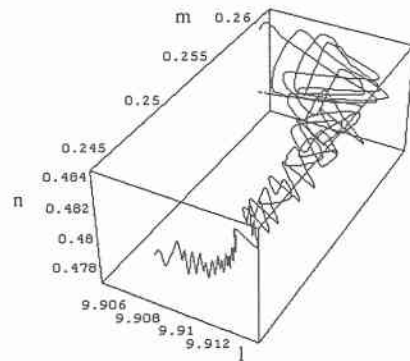


図-4 砕波後の旋回渦成分の等渦度面 (CASE2, (a)~(c)の位相間隔 T/8)



マーカーの初期位置
(l,m,n)=(9.92,0.28,0.48)
図-3 マーカーの移動軌道 (CASE1)

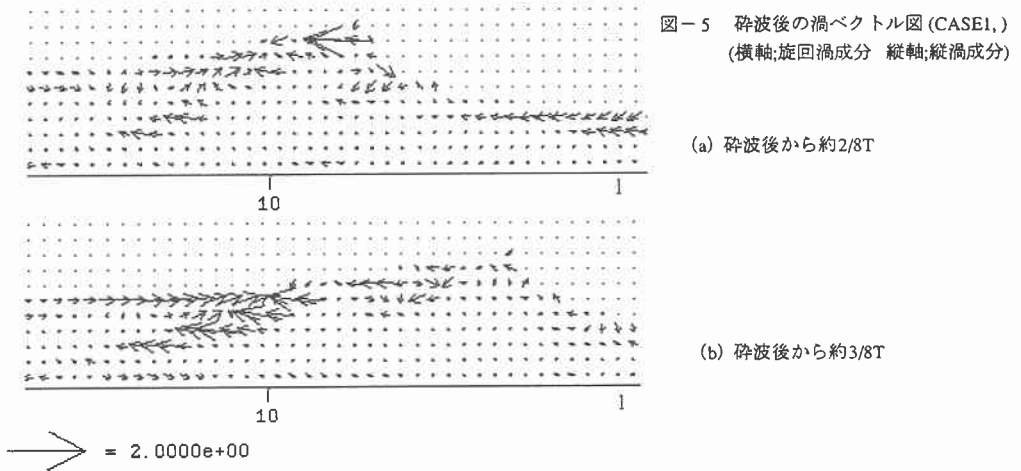
図-4は側方境界を周期境界条件を与えたCASE2の砕波後同位相においての旋回渦成分の無次元等渦度面(黒; -.5, 白; +.5)を表している。これらの渦管は、砕波フロントから斜め下方に伸びる正負の渦度をもつ旋回性渦管で、砕波フロントの進行に伴って伸張されていくが、伸張の限界と共に渦管はちぎられ、新たな正負の旋回渦管が生成されていく。この渦管は図-2に示す旋回渦度成分を渦管と同様な特性を示している。この結果は、斜行渦の生成及び発達に直接的な側壁の影響はないことを示す。

3.2 旋回渦の発達

3.2.1 渦度ベクトル

図-5はnon-slip条件のCASE1について、それぞれ図-2の位相(a),(b)に対応する数値計算領域中央での渦度ベクトル断面図を示している。(a)の位相において、砕波フロント部にl-n平面内の強い渦

度ベクトルが存在している。その背後では座標に対して正負の異なる方向をもち斜め背後に伸びる渦ベクトルが顕著に現れている。渦度ベクトルを連ねた方向は渦線を表すので、この断面内では最低2つの逆方向に軸をもつ渦が存在しているといえる。(b)の位相では(a)で現れた渦とほぼ同一方向の軸を持つ渦が発達し強化されているのがわかる。一方、フロント背後では新たに同様な方向に伸びる渦線が確認できる。



3.2.2 渦度方程式からの考察

(式-1)は渦度方程式を示している。(ω₁; 旋回渦度、ω₂; 水平渦度、ω₃; 縦渦度)

$$\frac{\partial \omega_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial \omega_i}{\partial x_j} = \omega_j \cdot \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \nu \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad \text{----- (式-1)}$$

ここで、砕波直後では水平渦(ω₂)のみ存在する(ω₁=0、ω₃=0)と仮定すると、式-1は次のように書き換えられる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \omega_1}{\partial t} &= \omega_2 \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial \omega_2}{\partial t} &= -u \frac{\partial \omega_2}{\partial x} - v \frac{\partial \omega_2}{\partial y} - w \frac{\partial \omega_2}{\partial z} + \omega_2 \frac{\partial v}{\partial y} + \nu \nabla^2 \omega_2 \quad \text{----- (式-2)} \\ \frac{\partial \omega_3}{\partial t} &= \omega_2 \cdot \frac{\partial w}{\partial y} \end{aligned}$$

以上の式から、砕波後に発生する水平渦成分(ω₂)から他の2成分(ω₁、ω₃)が必然的に誘起され、一度発生したそれぞれの渦度は非線形性により発達あるいは分解が進行する。

3.2.3 歪みテンソル成分

次に、速度勾配を持つ流速場において渦度と密接な関係を持つ歪み成分を調べることから、この複雑な渦構造の生成機構の解明の手がかりをこの章で探していく。灘岡ら(1985)は、斜行渦の発達には歪みテンソルの(∂u/∂z + ∂w/∂x)成分と密接に関係するという可能性を指摘した。図-6は数値計算領域中央、図

-5 (b) と同位相についての (a) は無次元 $(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x})$ 成分 (黒; -.5, 白; +.5)、(b) は無次元 $(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x})$ 成分 (黒; -2, 白; +2) を表す。

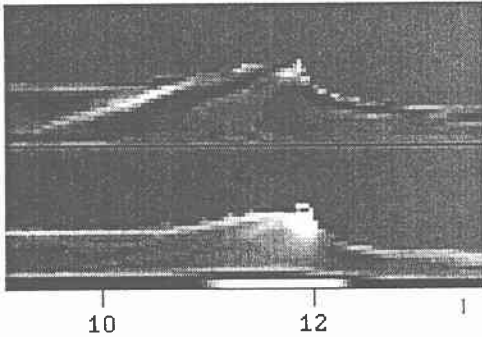


図-6 砕波後の歪みテンソル成分分布 (CASE1)

- (a) $\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$ 成分 (砕波後約 3/8T)
(黒; -.5, 白; +.5 :non-dimensional)
- (b) $\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}$ 成分 (砕波後約 3/8T)
(黒; -2, 白; +2 :non-dimensional)

歪みテンソルの主軸の方向に流体は伸縮されるので、これらの結果から主方向あるいは固有ベクトルを計算し、渦管の発達との相関を調べることは渦構造を知る上で重要と考えられる。本研究では図-6に示すように歪み成分の定性的調査のみ行ったが、今後これらについても調べていく予定である。

4. 結論

- 1) 周期境界条件においても斜行渦と考えられる旋回渦度成分を持つ渦管が確認された。
- 2) non-slip 条件 (側壁あり条件) の崩れ波において確認された斜行渦に関して、その発達分解過程を渦ベクトル図及び歪みテンソル成分の分布から考察した。

<参考文献>

- 1) 灘岡和夫・小谷野喜二・日野幹雄：二成分光ファーマー流速計を用いた砕波帯内流速場の特性の解明、第32回海岸工学講演会論文集、pp.50～54、1985。
- 2) 酒井哲郎・田中秀明：斜面上の砕波における水塊の突入と渦の挙動、第32回海岸工学講演会論文集、pp.70～74、1985。
- 3) 渡部靖憲・森 憲広・佐伯 浩：砕波の3次元 Large Eddy Simulation、第45回海岸工学講演会論文集、pp.146～150、1998。
- 4) 渡部靖憲・安原幹雄・佐伯 浩：大規模旋回渦、斜行渦、3次元砕波ジェットの生成及び発達機構、第46回海岸工学講演会論文集、pp.141～145、1999。
- 5) Lin, P. and P.L.-F.Liu :A numerical study of breaking waves in the surf zone,J.Fluid Mech.,Vol.359,pp.239-264,1998。