

斜面上における内部重力波の砕波機構について

大阪大学工学部 正員 室田 明
 同 上 正員 平田 健正
 同 上 正員 道奥 康治

1. はじめに：最近，密度場に生長する内部波の砕波の微細構造にまで立入った研究がなされているが，その大部分は小規模な内部波を対象としているため，砕波による水質混合量も非常に小さいことが報告されている。そこで，密度界面での水質混合の促進という観点からより規模の大きい混合形態を期待して，著者らは斜面上における内部重力波の砕波機構を実験的に検討してきた。本報では，特に砕波帯での流速分布特性を調べ，斜面勾配の砕波現象に及ぼす影響について考察する。

2. 砕波の概要：砕波帯における内部重力波の最も顕著な特徴は，表面波のアランジゲ型砕波に見られる様な波頂付近での水平方向流速の卓越はなく，逆に底面近くに最大流速 U_{max} が現われることである。従って，斜面上の内部重力波はこの底部近くの水粒子挙動がトリガーとなり，波動を底からくつがえす様な砕波形態を示し，砕波に伴ない空間的には塩水深規模の渦動を形成する。著者らは，砕波帯において最大流速が底部近くに現われる現象を基本的には Holmboe モデルのように界面近傍の密度分布を考慮した密度モデルである程度説明できることを示した。すなわち，界面近傍の密度場により界面付近の水粒子運動が拘束されるため，最大流速はより底部近くに現われることである。

3. 砕波帯の流速分布：砕波点付近の流速分布を水素気泡法を用いて撮影し，1秒間隔で写真-1に示す。水理条件は相対密度差 $E=0.0143$ ，斜面勾配 $S=1/10$ ，沖波波形勾配 $H_0/L_0=0.018$ である。また，白金線の間隔は全て 10cm で，水素気泡のタイムライン間隔は 0.1 秒としている。

写真 a は砕波前，b は砕波時，c は砕波後のもので，各写真中の地点 (3) が砕波点に相当する。尚，界面波形は写真中に実線で示している。砕波前の写真 a-(2)

(crest 時に相当) では底部付近に卓越流速はわずかに認められるが，流速分布はほぼ一様であるのに対し，b-(3) では底部付近には顕著な前進流が存在し，無流点が界面と底面の中間位置くらいまで移動している。

この無流点より上方には沖方向に向う逆流が生じており，渦動形成の典型的な流速分布形を示している。この界面付近の流れは先行した砕波の塩水塊が若干稀釈され，もどり流れとして砕波帯に存在するためと考えられる。さらに，砕波時には写真 b に矢印で示したくぼみが波頂の前面に発生し，波形の進行とは相対的に

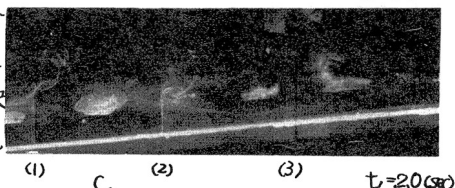
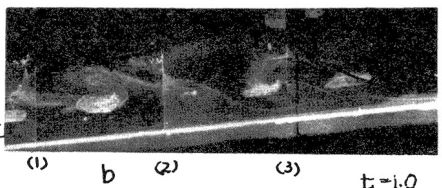


写真-1 流速分布

波頂の後部へと移動する。写真 C-(3) はくぼみ後部の状態を表わしているが、流速分布はほぼ一様化し、むしろ砕波前の様子に近いようである。これらの現象をより明確にするために、同じ実験条件で16ミリシネフィルムより解析した地点(3)の流速分布の時間波形を図-1に示す。縦軸は底面から界面までの距離を、横軸は時間と流速を表わす。(時間は図中右から左に流れ、時間と流速のスケールは図中に併記している。) 同図より渦動の存在を示す相対速度差は波頂の前面において最も大きく、この部分に渦が形成されると言える。一方、くぼみ後部には前述した様に相対速度差はほとんど認められず、くぼみを境とした pair vortex は存在しない。以上の様に、底部付近の前進流と界面付近の逆流が一体となり、渦が形成されるものと考えられるが、底部卓越流の発生因として密度効果を考慮した基本的な波動特性に、1) 逆流による前進流の流速欠損、2) 前進流の稀釈塩水下への進入、3) 底部勾配の影響、4) 粘性底層の渦度拡散、等が相乗的に関与していると考えられる。

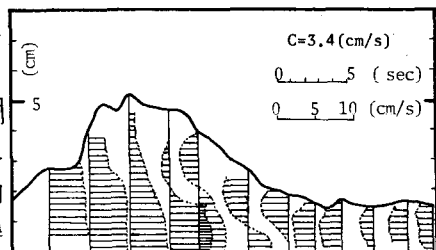


図-1 流速分布の時間変化

4. 砕波限界; 斜面勾配の砕波現象に与える影響を調べるため、斜面勾配 $S=1/20, 1/10$ の二種類について実験を行い、砕波時の水理諸量を求めた。実験的には波動内の水粒子挙動に着目し、視覚的に渦の形成をもって砕波と定義する。図-2 は砕波時の塩水深 h_b (砕波点における静止時の底面から界面までの距離) を沖波波長で無次元化した h_b/L_0 を沖波波形勾配 H_0/L_0 に対して勾配と密度差別に示したものである。図中線形理論ではあるが Holmboe モデルより求めた理論曲線も併記している。尚、計算上は砕波条件として $U_{max}=C$ (C は波速) を与えている。全体的な傾向として実験値は理論値と一致する様である。さらに、沖波諸量が同じであれば勾配が大きい程 h_b は大きく、より沖側で砕波することがわかる。すなわち、斜面勾配やむしろ流れがより渦の形成を促進していると言える。

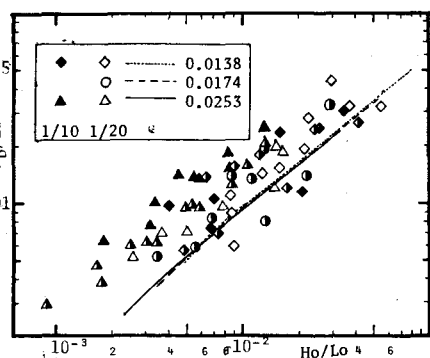


図-2 $h_b/L_0 \sim H_0/L_0$

5. 砕波後の翹上: 砕波後の翹上高さは、砕波というエネルギー損失を経た後の塩水塊のエネルギー状態を反映していると考えられる。そこで翹上高さ Δh (静止時のリ線から最翹上点までの鉛直距離) を求め図-3 に $\Delta h/L_0$ と H_0/L_0 の関係を示す。同図は H_0 が大きい程 Δh も大きいことを示し、斜面勾配が大きい程 Δh は小さい。つまり斜面勾配が大きい程より沖側で砕波すること、あるいはより水質混合が促進されていることを示唆するものであろう。

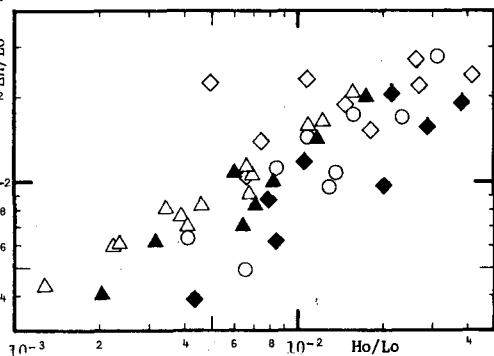


図-3 $\Delta h/L_0 \sim H_0/L_0$