

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

1. はじめに; 密度界面での水質混合の促進という観点から, 著者らは斜面上における内部重力波の砕波機構について一連の実験的検討を行っている。これによると, 内部重力波の砕波は塩水深規模の渦動の形成に特徴づけられるが, 本報では砕波に伴う水質混合形態を可視観測することにより明らかにし, 砕波の密度場に対する影響について考察する。

2. 実験方法; 実験装置は前報¹⁾と同じである。本報では内部重力波を60波生起させ, その間砕波に伴う密度変動を3地点, すなわち汀線(地点1), 砕波点(地点2), および砕波点より沖側45cmの地点(地点3)で電導度計を用いて計測する。地点1では底面より上方0.5cmに, 地点2と3については静止界面下0.7cmの位置に電導度計検出部を固定し, いずれの濃度変動もヤシ書きレフティンググラフ上に記録する。密度分布は上記の3地点で実験前および実験後に計測している。また, 砕波の影響がないと考えられる沖側一様水深でサーボ式水位計により入力波形および周期を検出し, 相当沖波諸量を推定する。なお, 上下層の密度差 ε は0.0138で斜面勾配は1/10である。

3. 実験結果と考察

3.1 混合形態; 砕波帯内の流速分布特性から, まず内部重力波の砕波に伴う渦動の形成について説明する。写真-1は砕波時の流速分布の一例で, 実験条件は周期 $T=11$ 秒, 沖波波形勾配 $H_0/L_0=0.032$ のものである。なお, 白金線の間隔は5cm, 水素気泡列のバルス間隔は0.1秒で, 界面波形は写真中に実線でトレースしている。写真より, 砕波時には底部付近の卓越流速が流速(この場合は3.4cm/sec)を上回っていることが分る。この時, 無流点は底面と界面の中間位置くらいにまで移動し, それ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。界面付近に集中する逆流は, 先行した砕波により混合稀釈されたもどり流れに起因すると考えられるが, 底部付近の卓越流とこの逆流が一体となり空間的には塩水深規模の渦動の形成過程が理解される。以上のような砕波形態は現象の規模に大小の差こそあれ, 全ての実験ケースに共通している。つぎに, 写真-2aは上記の大型渦に伴う上下層間の水質混合形態を調べるため, 所定の密度を有する塩水を躍層部に注入して可視化したものである。この場合, 色素トレーサとしてウランを用いている。写真には注入塩水がくぼみ(写真中の矢印)前部の渦動部へ侵入していく様子がうかがえるものの, 総じて躍層下部のものが中心であり, 上層淡水の混入は顕著ではない。可視観測にトレーサとして用いた塩水は, この実験での下層塩水と淡水の容積比を3:1程度に調合しており, 上・下層の中間密度を有する塩水を注入した場合, 淡水は勿論注入塩水の下層側への侵入は観測されていない。写真-2b・cは上記と同密度の塩水をもどり流れ中に投入し, その流れ線を示したものであるが, 同写真からもどり流れが塩水側に巻き込まれ, 一回転して混合・拡散する過程が明確に認められる。これらの実験結

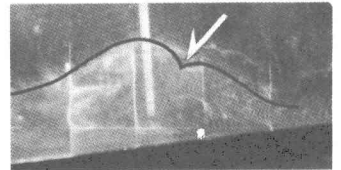
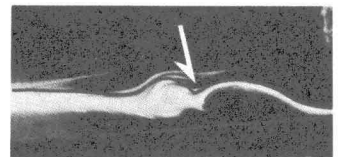
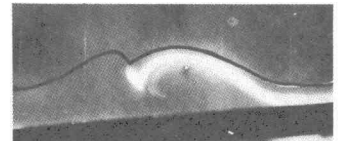


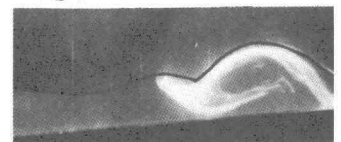
写真-1 流速分布



a



b



c

写真-2 混合形態

果より、本研究の範囲内での水質混合形態は、淡水の塩水側への直接混入よりはむしろ、躍層近傍の稀釈された塩水の混入が主体であると推察される。

3.2 内部砕波による密度の変化; 可視観測から予想される水質混合は、上層淡水の塩水中への直接混入が認められないこともあり、多くは望めないようである。ここでは内部砕波に伴う密度変動を比較的長時間計測し、その実験結果について考察する。密度変動は3地点とも定点計測しており、実験中の塩分濃度検出部と界面との位置関係が不明であるため、各密度時間波形中の最大値をもって代表させる。図-1は砕波による地点1への密度変化を定量的に把握するため、混合稀釈の割合を表す無次元量として $(\rho - \rho_1)/(\rho_2 - \rho_1)$ を選び、無次元時間 t/T に対して示したものである。ここに、 ρ ; 任意時刻での密度の最大値、 ρ_1 ; 淡水の密度、 ρ_2 ; 混合開始点と見なし得る塩水の密度で、 t ; 実験開始からの時間、 T ; 内部波の周期である。図中、地点1(訂線)の実験値には実験初期($t/T < 6$)において密度の増加が認められるが、これは入力する内部波がまだ定常状態には至らず、専ら躍層付近の塩水が湧上するためと考えられる。また、地点1と2(砕波点)を比較すると t/T の増加に伴う密度減少の傾向はほぼ一致するが、地点1の方が $(\rho - \rho_1)/(\rho_2 - \rho_1)$ の値にして若干大きく現われている。このことは、最大密度を用いていると言うものの、地点1は写真-2.Cに見られるような砕波後の十分混合拡散した状態を促しており、湧上塩水の平均的な密度を反映しているためであろう。つぎに、混合開始点について言えば地点1と地点2では当然のことながら一致し($t/T=6$)、地点3では $t/T=9$ となっている。この地点3は地点2より沖側45cmの位置にあり、砕波の影響を直接被ることはない。したがって、砕波により混合稀釈された塩水が沖方向に拡散され、 $t/T=9$ で地点3に達したものと推察される。事実、色素トレーサを躍層部へ混入させ別途観測したところ、同様な結果を得ている。以上のように、内部砕波による密度場の変化は砕波帯での混合、沖方向への拡散、そして成層化という過程を経る。図-2は砕波点での密度の変化を図-1に依い砕波波形勾配別に示している。実験条件により、混合開始点は若干異なるものの、内部砕波による密度低下、特に砕波波形勾配による差異が顕著に認められる。すなわち、Run 1と2において混合稀釈の速さを示す実験値の傾きはRun 3と4に比べて大きく、60波程度で $(\rho - \rho_1)/(\rho_2 - \rho_1)$ にして約12~13%稀釈されているのに対し、Run 4に至っては3~4%程度である。図-3はRun 1について実験前と実験後の密度分布を比較したものである。下層塩水側では砕波後十分に混合・拡散され(地点2と3)、ほぼ一様に密度が減少しているのに対し、淡水側では界面近傍の躍層付近を除いて密度の増加は全く認められない。換言すれば、斜面上での内部重力波の砕波は躍層厚さの増加という程度に水質混合に寄与しており、可視化実験結果も十分に容認できる。最後に、本研究を遂行するに際し、実験・データ解析に多大な協力を得た大阪大学大学院生・鈴木卓君に記して謝意を表する。

参考文献 1)道関・室田・平田; 第33回土不学会年講

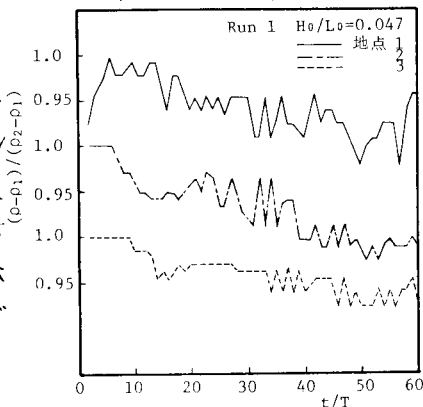


図-1 各計測点での密度変化

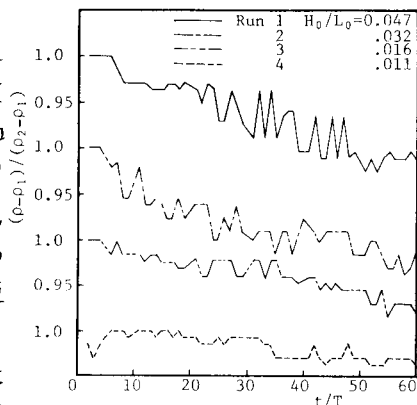


図-2 砕波点での密度変化

図-3はRun 1について実験前と実験後の密度分布を比較したものである。下層塩水側では砕波後十分に混合・拡散され(地点2と3)、ほぼ一様に密度が減少しているのに対し、淡水側では界面近傍の躍層付近を除いて密度の増加は全く認められない。換言すれば、斜面上での内部重力波の砕波は躍層厚さの増加という程度に水質混合に寄与しており、可視化実験結果も十分に容認できる。最後に、本研究を遂行するに際し、実験・データ解析に多大な協力を得た大阪大学大学院生・鈴木卓君に記して謝意を表する。

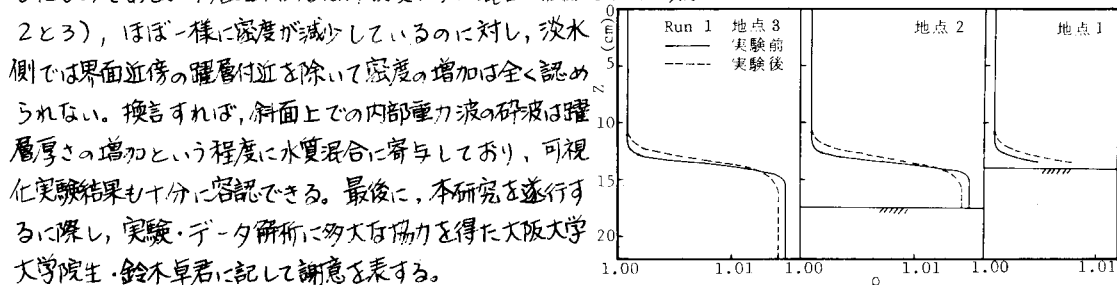


図-3 密度分布