

II-228 密度界面における相互連行現象について

芝浦工業大学工学部 正員 菅 和利
 東京大学工学部 正員 玉井 信行

1. はじめに

塩水くさびの塩分濃度の縦断方向の変化をつくりだし、緩混合状態を形成するメカニズムの1要因である密度界面での混合現象については従来から現地観測、室内実験、渦をモデル化した取扱い等の巨視的な研究が多くなされている。しかし混合現象の微細構造については不明な点が多く残されており、又物理的に無理のない記述方法についても不十分であると思われる。著者らは、界面での混合現象を微細乱子による直接の流質の輸送、分子拡散による輸送、砕波に代表される大規模乱流による輸送の3要因に分類し、個別に取り扱うことを提案してきた。その際の砕波による輸送は上下方向相互に生じているとして、相互連行速度を用いた評価を試みてきている。上層、下層が共に流動している2層流では砕波は上層、下層相互の方向に生じ、流塊を上下相互に輸送している。この上向き、下向きの輸送速度のアンサンブル平均を相互連行速度と定義して、混合現象をできるだけ忠実に記述しようとしている。

本研究では2重円筒回転水槽を用いて色々の流速の組合せの2層流をつくりだし、混合現象を詳細に可視化し、現象を把握するとともに、物質の鉛直方向の輸送現象を精度よく測定することを試みた。

2. 実験の概要

応答性の優れた幅3mmのくし型4電極プローブを自作し、界面を挟んで上下5mmの地点に設置して導電率を測定し、界面を通過する流質を観察した。また同地点に2成分熱線流速計プローブを設置し、流速変動を測定した。内部波の可視化はミルクトレーサー法とアルミ粉末法を用いた。用いた水槽は外壁がアクリル板でできた2重円筒水槽で、粗度のついた上板、下板を独立に回転させることができ、順逆の流向の組合せを種々作ることが出来る。各計測器からの信号はAD変換しパソコンに直接取り込み、その信号に可視化による砕波の情報を同時に入力した。



写真-1 砕波

3. 結果及び考察

写真-1は巻き波による砕波の1例を示したものである。内部波の特性は吉田らの結果と大局的には同じであったが界面下に存在する集中渦の存在は観察されなかった。この写真では不鮮明であるが界面に生じる砕波によって流塊が上下相互に輸送されていることが観察された。この時の界面位置、界面近傍の密度変動を平均値より上下に分けて時間変化率で示したのが図-1である。図中縦線は砕波の生じた時刻を示しており、この時刻では変動が大きくなり、砕波によって流質が激しく輸送されていることを示している。図-2は上下板を逆方向に回転させた場合の流速、流速変動強度を示したものである。上下層が逆向きに流動するときには界面近くに無流面が存在し併せて密度勾配が大きいため平均流方向の変動は界面では小さく界面より5mm離れるとやや大きくなることが見られる。一方鉛直成分の変動の大きさは界面近くでもある程度の大きさを有しており、この鉛直速度変動成分によって流質が輸送されていることを示している。各地点で速度とともに密度の変動を同時に測定しており界面付近での微視的な輸送量を算定することができ、界面位置、密度分布の時間的な変化から算定した巨視的な輸送量との比較検討を行った。図-3は界面位置の変動と流速変動との相関を示したものである。この図は逆方向の

流向の組合せの場合であり、相関が低く現象が複雑であることを示している。順流の場合には界面下5mmの地点では相関は0.6と大きく、輸送が界面よりも少し離れた地点で活発に生じていることが知られた。このことは図-3からも見る事ができる。

図-4は界面より5mm下の地点での密度変動と鉛直速度成分とを图示したものである。縦軸は密度変動で平均密度より大きい値を正、小さい値を負として示しており、横軸は鉛直速度成分で上向きを正、下向きを負としている。第一象現にあるデータの意味は密度の濃い下層の塩水が鉛直上向き流速で輸送されることを示しており、第三象現は逆に密度の薄い上層水が下層に輸送されるのを示している。又第二、第四象現は連行が完成しなかった現象を表していると考えられる。この図によると輸送は複雑に生じているが第一、第三象現に活発に生じており、相互連行としての扱いの妥当性を示唆している。第一象現の輸送量を上向きの輸送量として大局的な輸送量と比較すると良好な一致が得られた。

図-5は連行を支配する代表流速を検討するために、体積保存式、質量保存式よりそれぞれ求めた上向きの連行速度を上層の平均流速の絶対値に対してプロットしたものである。各データはリチャードソン数が異なるので比例関係を示していない。相対速度差についてプロットした場合にも同様であった。

図-6は代表速度に連行される側の平均流速を用いて連行係数、リチャードソン数を計算し、整理したものである。体積保存、質量保存式で多少の違いはあるが正逆の流れを一つの関数で整理できることがわかる。相対速度差を用いて同様の整理を行うと順流のデータのばらつきが大きく、代表速度として連行側の速度の絶対値を採用することが妥当と思われる。

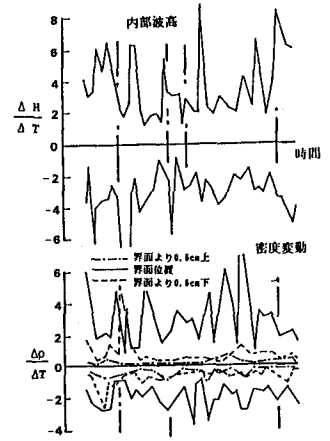


図-1 界面、密度の変動

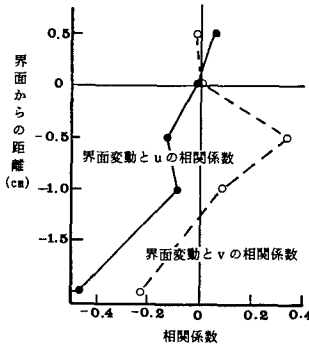


図-3 相関図

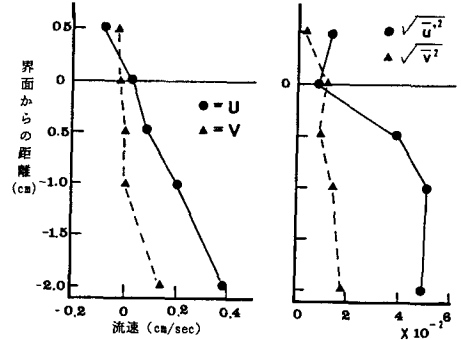


図-2 平均流速、乱れ強度

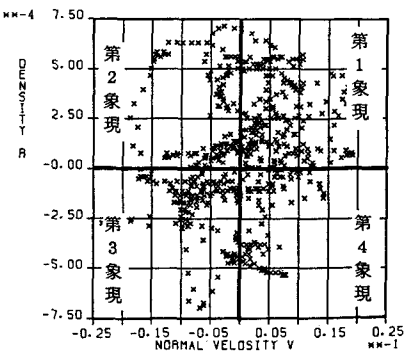


図-4 密度変動、鉛直流速変動

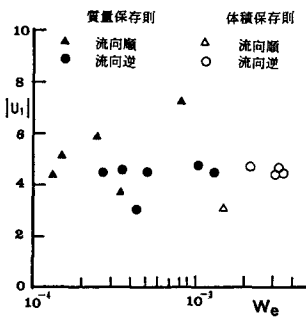


図-5 代表流速

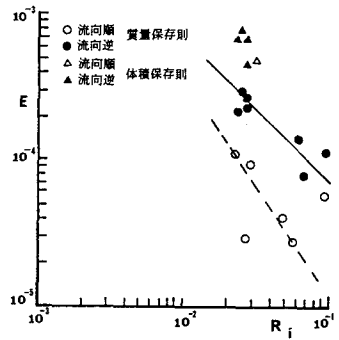


図-6 連行係数