

京都大学大学院博士課程 学生員 ○吉田圭介
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 楠津家久
 京都大学大学院修士課程 学生員 垂井晃一

1. はじめに

水・空気2層流の乱流現象は界面近傍における水・空気乱流の相互作用によるものであるが、その理論的解析が困難であることが知られ、従来より実験や数値計算による解析が多く行われてきた。実験的手法による既往の研究では、主に点計測による流れ場の鉛直断面内の時間平均構造に関して詳細に研究がなされ、平均流速、乱れ強度などについて検討が加えられてきた。しかし、水・空気流混成場（開水路底面シアと水・空気界面シアが共存した流れをいう）の乱流構造を解明するには、その境界である界面近傍における流れ場の組織的運動を詳細に把握することが重要である。既往研究¹⁾では界面シアに起因する組織構造の存在が指摘されているが、水・空気流混成場における界面組織構造の発生メカニズムに関しては未解明な点が多い。本研究ではレーザー流速計(LDA)を2台用いた同時計測を行い、風シアを伴う開水路乱流場における界面近傍の組織渦構造の実験的解明を行うものである。

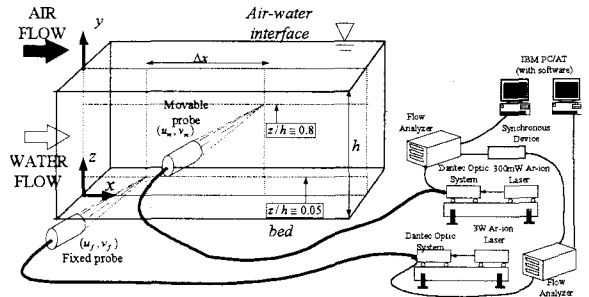


図-1 LDAによる2台同時計測装置

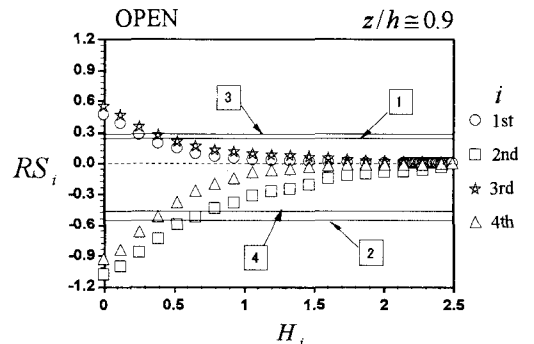


図-2 4象限区分半値しきい値法におけるしきい値 H_i と寄与率 R_i (Case: OPEN)

2. 実験方法および実験条件

本実験で使用した水路は全長16m、幅40cm、高さ50cmの可変勾配型循環式風洞開水路である。瞬間流速の点計測には、300mWおよび3Wの後方散乱型2成分アルゴンイオンレーザー流速計(LDA, Dantec社製)を用いた。計測点は水層の水路中央断面とした。LDAによる2点同時計測手法はNezu & Nakagawa (1993)と同様である(図-1)。実験条件は既往研究¹⁾と同様である。座標系は水路中央断面において、流下方向にx軸、鉛直上向きに静水面からy軸、水路底面から上向きにz軸とした(図-1)。流下方向x軸および鉛直方向y軸(or z軸)方向の平均流速成分を (U, V) 、乱れ変動成分を (u, v) と定義した。

3. 実験結果および考察

Komori²⁾およびNakagawa & Nezu³⁾によれば、開水路乱れ構造は壁面せん断応力による組織渦で構成されていることが指摘されている。一方、界面シアの存在下における組織乱流特性に関しては不明点が多い。そこで、本研究では風シアのある底面近傍の組織構造、および界面組織構造に関して考察する。解析手法として、LFT¹⁾、Wavelet手法¹⁾および4象限半値しきい値法³⁾を併用し、周波数毎に波動成分を除去した変動を考察する。また、解析に用いる流速変動はReynolds分解を行った流速 u からLFTを用いて算定される波動成分を差し引いた成分とする。図-2には開水路流(OPEN)を対象として、4象限区分半値しきい値法を適用した際のしきい値 H_i と寄与率 R_i の関係について示したものである。図中、□囲みは、 i 象限におけるしきい値を示す。一方、図-3には開水路流(OPEN)および混成流(COM2, 4, 6)での組織運動に起因する鉛直方向の運動量輸送 ΔS を示した。運動量輸送の指標として無次元化 $\Delta S \equiv (RS_2 - |RS_4|) / u^* v^*$ を定義し、○は波動成分を除去した流速変動 u^* に関して、●は全流速変動 u に関

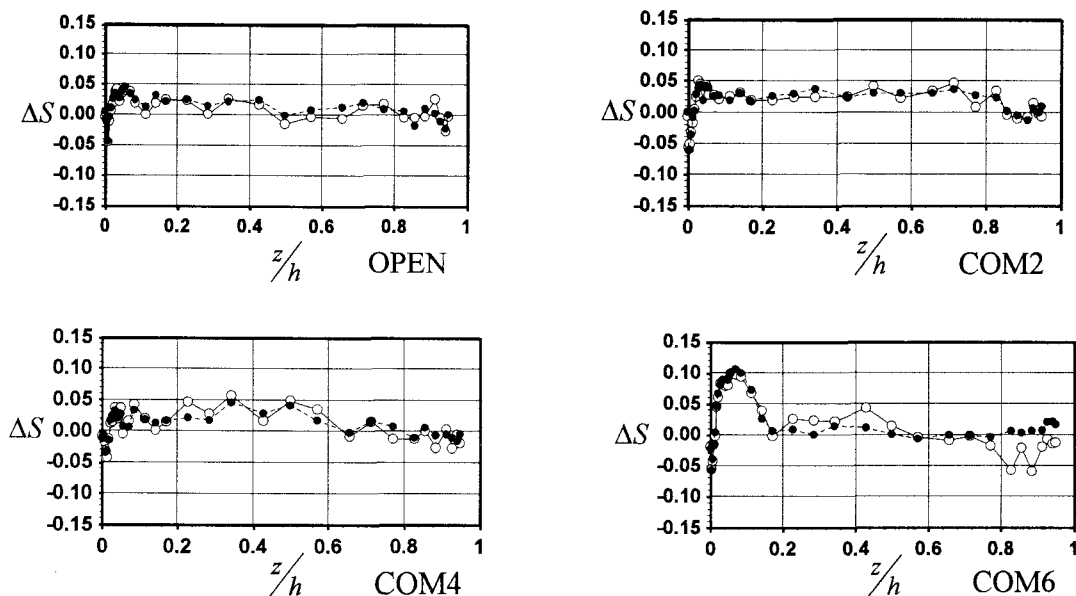


図-3 組織的運動による鉛直方向運動量輸送

して解析した。図より、底面近傍では風シアの有無に限らず、ほぼ底面シアに支配された組織乱流構造が観察される。一方、界面近傍に着目すると、風力が弱いケース COM2, 4 では風シアの影響が時間平均的に観察されないが、COM6 では波動の影響(●)によって時間平均的な鉛直方向運動量輸送はゼロに近くなるが、風シアに起因する吹送流速変動(○)に対しては下方の輸送が行われることがわかる。これは吹送流を伴う開水路場の水面近傍では水面から下方へ向かう組織的な運動が存在することを示唆している。図-5 には開水路場(OPEN)および混成流(COM4, 8)での条件付き相関係数を示した。ただし、解析の対象とする流速変動は Reynolds 分解のみである。図中、 Δx は計測点間の水平距離、 τ は時間遅れ、添字 f は底面近傍固定計測点、 m は界面近傍移動計測点を示し、 c は ejection に対する条件判定係数を示す。同図より、開水路場では、底面で発生した組織運動は boil として界面へ上昇し、水表面更新と関連する²⁾。一方、風シアを伴うケースにおいては異なる遅れ時間で大きな正の相関が観察されず、COM8 では風波固有の周期での振動が観察される。また、より下流の移動点 $\Delta x/h$ を対象とした解析結果に対しても明瞭な相関は観察されなかった。よって、界面で観察される組織的運動は、底面で発生する組織的運動と相関がなく、界面シアに起因する組織運動であることがわかる。

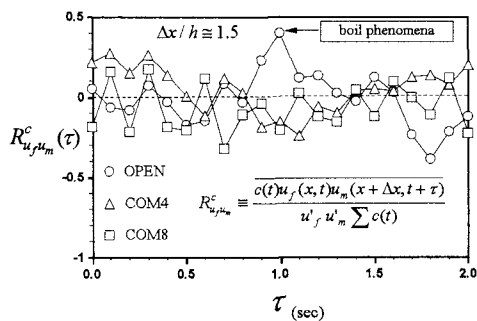


図-4 2点同時計測による条件付き相関

4. おわりに

本研究では LDA を 2 台用いて同時計測し、時間周波数解析を行うことで、風シアを伴う開水路乱流場界面近傍の組織運動を考察した。その結果、開水路乱流場との相違が観察され、本実験場では界面シアに起因する界面近傍組織運動がとらえられた。

(参考文献)

- 1) 瀬津家久・吉田圭介・垂井晃一：水面上に風シアが存在する開水路流場における水層乱れ構造と水面変動に関する研究，水工学論文集，第 48 巻，2004 年。（印刷中）
- 2) Nezu, I and Nakagawa, H.: Turbulence in Open-Channel Flows, IAHR-Monograph, Balkema, 1993.
- 3) Komori et al.: The relationship between surface-renewal and bursting motions in an open-channel flow, *J. Fluid Mech.*, Vol.203, pp.103-123, 1989.