

京都大学大学院工学研究科 フェロー 榊津家久 京都大学大学院工学研究科 正会員 牛島省
 京都大学大学院博士課程 学生員 吉田圭介 京都大学大学院修士課程 学生員 ○濱田悟

1. はじめに

水／空気界面を通して行われる気体輸送機構を解明するには、特に水層界面近傍での濃度境界層の流体挙動を明らかにすることが重要である。榊津ら¹⁾は、開水路流れおよび風波における気体輸送係数と界面乱流現象との関連性について考察を行った。さらに、Nakayama²⁾は水・空気層の相互作用による乱流現象や組織構造が気体輸送機構において重要な支配因子となることを示した。本研究では開水路流れと風波流れとの混成流れを対象として LDA を用いて、混成流れの平均的な流体挙動を計測し、水層界面の乱流構造を中心に考察する。

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。水層の瞬時的な流速はレーザー流速計(LDA, Dantec 社製)(図-1 参照)を用いて水路中央部における流れの鉛直方向の変化を計測し、その際、超音波波高計(Keyence 社製)を用いて、水面変動も同時計測を行った。表-1 に水理条件を示す。ここで、 h は水深、 $U_{a,max}$ は空気側の最大風速、 U_{*a} 、 U_{*b} はそれぞれ空気層界面・水層底面での流速分布に対数則を適用して評価された摩擦速度である。水深を同一にし風速・流速を変化させることで、水理条件を 12 ケースにした。座標系は流下方向を x 軸、静水面より上向きを y 軸、底面より上向きを z 軸とした。

3. 実験結果および考察

図-2 は水における乱れ強度比 v'_w/u'_w の分布である。底面近傍では空気層における界面近傍と同様に v'_w/u'_w の値は小さくなる。界面近傍では、水流速に対する風速が小さく水面が滑面状態である場合には v'_w/u'_w の値が開水路の場合よりも小さくなっているのに対し、水流速に対する風速が大きく水面が振動している場合 (C31) には v'_w が減少せず、むしろ増加するため v'_w/u'_w の値は大きくなっている。これは水面が滑面の場合には水面が一種の「弱い壁」効果をもたらすからである。

図-3～図-5 は水流の流速変動のパワースペクトルである。高フルード数低風速の場合(C13)には界面近傍においても開水路の場合と大きな違いは見られない。一方、高風速の場合(C31)には中風速の場合よりもさらに乱れが増加し、 $\xi(z/h)=0.05$ の点においても開水路の場合には存在しないピーク (4.5Hz 前後) が明らかに見られる。これより、底面近傍にまで及ぶ大きな渦が発生していることがわかる。また、流下方向のスペクトル $S_u(f)$ よりも鉛直方向のスペク

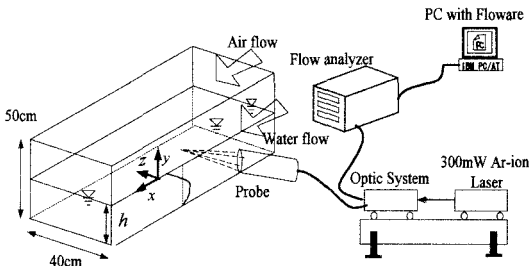


図-1 LDA 計測装置

表-1 実験条件表

CASE		h (cm)	B (cm)	Fr	$U_{a,max}$ (m/s)	U_{*a} (cm/s)	U_{*b} (cm/s)
Open	C10	7	40	0.2			0.56
	C20			0.5			1.132
	C30			0.8			1.788
Combined	C11			0.2	1.11	4.43	0.484
	C12			0.5	1.11	4.35	1.046
	C13			0.8	1.11	3.94	1.689
	C21			0.2	2.54	10.58	0.414
	C22			0.5	2.54	9.1	0.959
	C23			0.8	2.54	9.23	1.615
	C31			0.2	3.93	16.77	0.492
	C32			0.5	3.93	15.58	0.964
	C33			0.8	3.93	13.57	1.554

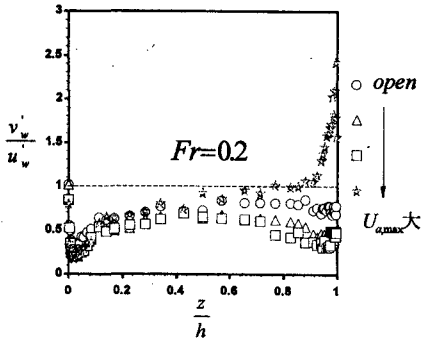


図-2 水層の乱れ強度比の分布

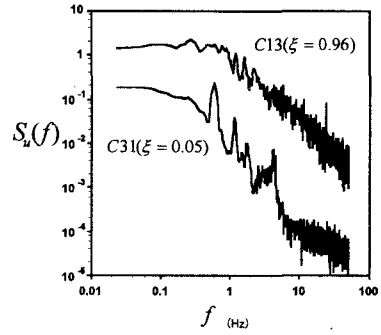


図-3 水層流速パワースペクトル

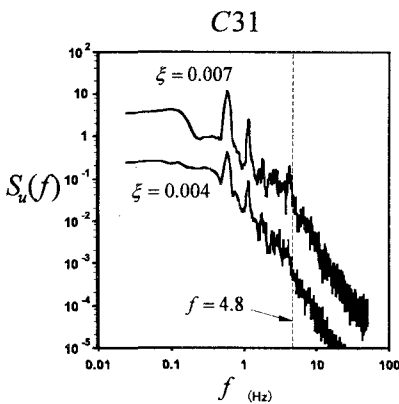


図-4 C31における卓越周波数の存在

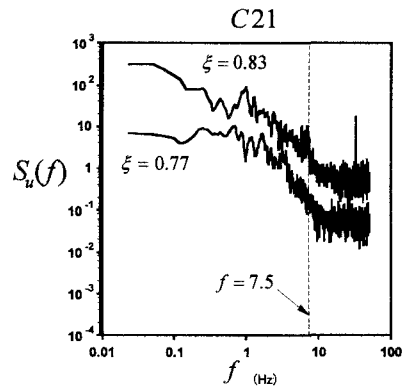


図-5 C21における卓越周波数の存在

トル $S_v(f)$ の方にはっきりとピークが見られることから、鉛直方向の乱れの方が波の影響を受けやすいことが分かる。このことは図-2からも分かる。

一方 $Fr = 0.8$ の場合に注目すると、底面近傍はもちろん、界面近傍においても風シアーの影響は見られない。このようにフルード数が大きいほど、風速が小さいほど卓越周波数が大きくなり、ある程度のフルード数を超えると卓越周波数は見られなくなる。

また、図-3～図-5 から分かるように(C31)では $\xi = 0.007$ の点にまで卓越周波数が見られるのに対し、(C21)では $\xi = 0.83$ の点までしか見られない。空気流と水流との相対速度差が大きいほど、大きなスケールの乱れができ、その卓越周波数は小さくなる。

4. おわりに

本研究では開水路流れと風波流れとの混成流れを対象として LDA を用いて、混成流れの時間平均的な流体挙動を計測し、水層界面の乱流構造を中心に考察した。その結果、空気流と水流の相対速度差に応じて、水層流体場の構造が変化することが確認できた。今後は、組織渦について研究していきたい。

(参考文献)

- 1) 瀬津家久, 中山忠暢, 井上理恵: 風波発生下における水・空気界面での乱流構造に関する研究, 水工学論文集, Vol.43, pp.413-418, 1999.
- 2) Nakayama, T.: Turbulent and coherent structures across air-water interface and relationship with gas transfer, 京都大学学位論文, 2000.