

京都大学大学院工学研究科
(株)丸島アクアシステム
京都大学大学院工学研究科修士課程

フェロー 瀬津家久
正会員 井上理恵
学生員 ○池田大輔

1. はじめに

現在、各種気体の地球環境内での循環過程の評価が重要な課題となっており、特に水・空気界面を通しての物質輸送は環境及び地球物理学的にも非常に重要である。しかし、従来から風波に関して様々な研究が行われてきたが、いまだに未解明な点が多いのが現状である。本研究では、上下流端を閉め切った閉鎖水域内の流れを対象として、レーザー流速計(LDA)を用いて乱流構造と風波の関係を解明し、気体輸送過程の予測において重要である下方へのバースティングの特性と風波の特性との関連性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法および実験条件

本実験は、全長 16m、幅 40cm、高さ 50cm の風洞付き開水路を用いて行った。図-1 に実験装置図を示す。座標系は流下方向を x 、界面から上向きに y 、下向きに y' とした。流速変動成分は流下方向成分を u 、鉛直方向を v とした。瞬間流速の測定には、300mW の 4 ビーム後方散乱型 2 成分レーザー流速計(Dantec 社製 LDA)を用いて、水路 upstream から約 9m 下流の流れが十分発達した地点で水側及び空気側の水路中央断面における計測を行った。表-1 に実験条件表を示す。ここで、 H は水深、 $U_{a,max}$ は空気層での最大風速、 U^*a 及び U^*w は、空気側及び水側にそれぞれ対数則を適用して求めた摩擦速度、 H_s はデジタルカメラの画像より求めた有義波高、 f_p は主流速方向の速度変動成分のスペクトル解析より求めた風波の卓越周波数である。

3. 実験結果および考察

Toba(1996)¹⁾ は風波の直下の風波と直結した特別な乱流境界層(深さの有義波高の 3~7 倍)である DBBL(下方バースティング境界層)の存在を明らかにし、ここではその DBBL の特性について検証する。図-2 に y' を有義波高 H_s 、水側の乱れ強度 u' を次式で示すストークスドリフト u_0 の速度で無次元化して示す。

$$u_0 = 2\pi^3 H^2 / g T^3 \tag{1}$$

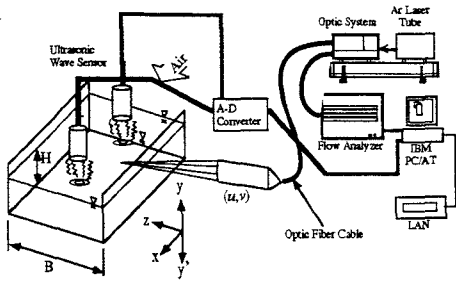


図-1 実験装置図

表-1 実験条件表

	H (cm)	$U_{a,max}$ (m/sec)	U^*a (cm/sec)	U^*w (cm)	H_s (cm)	f_p (Hz)
w1		2.33	10.7	0.25	-	6.3
w2		4.24	18.5	0.45	1.17	4.9
w3	20	6.55	37.1	1.15	2.59	3.1
w4		9.06	54.0	1.73	3.48	2.6
w5		11.80	95.2	3.09	5.43	2.1

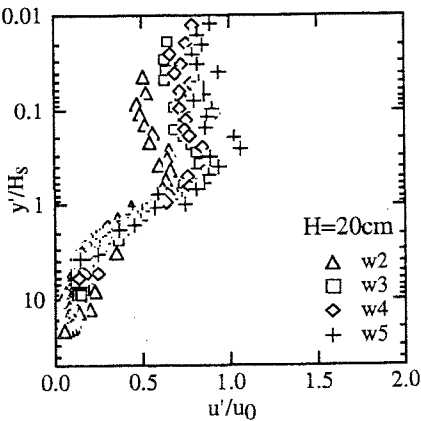


図-2 乱れ強度分布

u'/u_0 は水理条件によらずに DBBL の領域でよく一致し、風波のストークスドリフトと乱れ構造とは密接に関連していて、このストークスドリフトによって風波の乱流特性量を規格化できることが確認された。図-3 に乱れ強度比の分布を示す。DBBL の領域においてはほぼ 1 の値をとっており、Toba の主張するような乱れの等方性が見られた。

気体輸送過程と関連性の強いバースティングが Large Eddy、Small Eddy のどちらに支配されているかは重要な問題であり、本研究では、風波の組織構造の定量化を行うために 4 象限区分しきい値法による条件付きサンプリングを行った。図-4 に、内部変数表示をした ejection の周期の水深方向分布を示す。ここで、 T_e は ejection の周期で、内部変数表示では、ばらつきが大きい。一方、図-5 に外部変数表示を示す。内部変数表示したものには比べ比較的良好的にまとまっている。さらに、図-6 に T_e を f_p によって無次元化したものを示す。ここで、 $U_{w,max}$ は水側での最大流速である。外部変数表示をしたものと同等に一致しているが、外部変数表示をしたものが界面近傍よりもむしろ中間領域で一致をしていて、界面近傍でのばらつきが多くなっているのに対して、 f_p で無次元化したものは、それとは逆に中間領域よりもむしろ界面近傍で一致をしている。図-7 に U^*a に対する卓越周波数 f_p で無次元化したバーストの周期 T_B を示す。風速が増加するにつれてバースト周期は短くなり、水面が粗面状態になるとある一定値に漸近していくという傾向が得られた。以上のことより、 f_p と組織構造には一意的な関係があると考えらる。また、風波のバースティング現象は Large Eddy によって支配されていると考えられ、界面近傍の組織構造の解析には外部変数表示よりも f_p による無次元化の方が適しているという結果が得られた。

参考文献

- (1) Toba, Y.: Wind-wave coupled downward-bursting boundary layer (DBBL) beneath the sea surface, *J. Oceanogr. Soc., Japan*, Vol.52, pp.409-419, 1996.

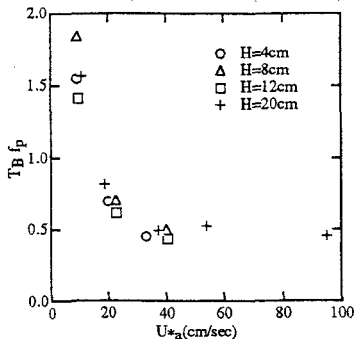


図-7 f_p で無次元化したバーストの周期

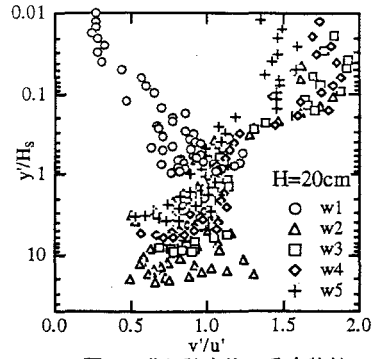


図-3 乱れ強度比の分布特性

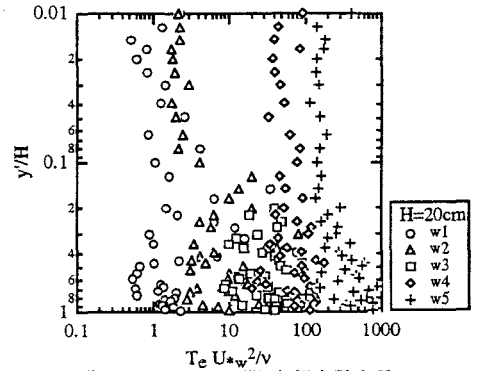


図-4 ejection の周期(内部変数表示)

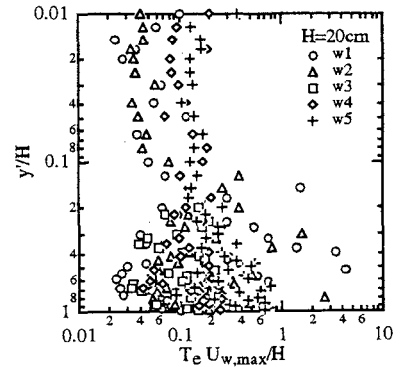


図-5 ejection の周期(外部変数表示)

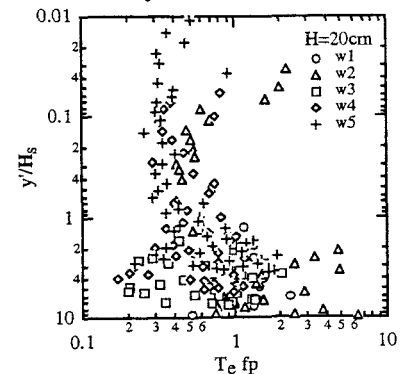


図-6 f_p で無次元化した ejection の周期