

京都大学大学院 正 員 瀬津家久
 京都大学大学院 学生員 井上理恵
 京都大学大学院 学生員 ○吉田圭介

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。瀬津ら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、瀬津・中山²⁾は水・空気層の相互作用による乱流現象(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。そこで、本研究は PIV 法(Particle Image Velocimetry)によって風波界面の流体挙動を計測し、従来より未解明とされる砕波を伴う風波での水層界面の位相平均化された乱流構造を解明するものである。

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水路である。水層の瞬間的な流速は PIV システム(Dantec 社製)を用いて計測し、その際、超音波波高計(Keyence 社製)および Off-delay 器を用いて風波の位相を特定した。表-1 に水理条件を示す。座標系は流下方向を x 、界面より上向きに z とした。PIV 計測断面は水路中央とし、位相平均手法³⁾により乱れ構造を抽出した。

表 1. 水理条件

Case	Interface condition	H [cm]	H_w [cm]	L [cm]	$U_{a,max}$ [m/s]	U_{*a} [cm/s]	U_{*w} [cm/s]
wv01	Smooth	25	*****	*****	0.68	3.72	0.0795
wv05	Gravity wave		2.3	16.10	6.03	31.64	1.175
wv10	Breaking wave		6.5	52.33	10.63	77.97	2.768

H : 水深、 H_w : 波高、 L : 波長、 $U_{a,max}$: 最大風速

U_{*a} : 空気側界面摩擦速度、 U_{*w} : 水側界面摩擦速度

(注) 滑面のケースでは波高および波長は極端に小さいため割愛した。

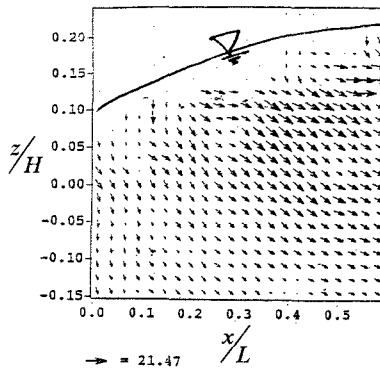


図-1 クレスト風上側
瞬間流速ベクトル
(Case: wv10)

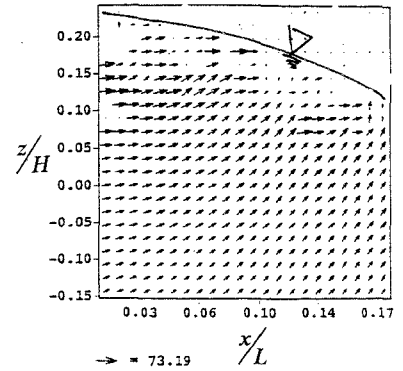


図-2 クレスト風下側
瞬間流速ベクトル
(Case: wv10)

3. 実験結果および考察

図-1、図-2 には砕波を伴う風波(wv10)の水層のクレスト付近の瞬間流速ベクトル図を示した。同図より、クレスト風上側で高速下降流が、クレスト風下側で高速上昇流が観察され、特にクレスト風下側では流下方向流速 u が卓越している様子がわかる。頁の制約上掲載できないが、本実験で観察された砕波は波の前面が白く泡立ち始めてから前面に広がり砕けていく、「崩れ波型」の砕波であることが確認された。

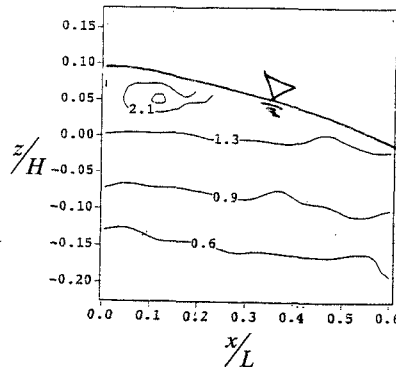


図-3 クレスト風下側
 u/U_w のコンター
(Case: wv05)

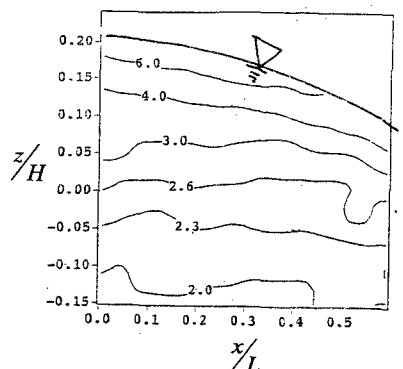


図-4 クレスト風下側
 u/U_w のコンター
(Case: wv10)

図-3、図-4には砕波(wv10)と2次元重力波(wv05)におけるクレスト風下側の流下方向乱れ強度 u'/U_{*w} のコンターを示した。図より、波面に沿うようなコンターラインが存在し、 u'/U_{*w} はクレスト近傍で最大値を示し、風速の増大に伴い乱れは増加している様子がわかる。なお、 u'/U_{*w} は両ケースでクレスト近傍で最大値をとっていた。一方、図-5、図-6には砕波(wv10)における鉛直方向乱れ強度 v'/U_{*w} のコンター図を示した。これより、クレスト風下側で最大値をとる様子が観察される。なお、wv05のケースではクレスト風下側と風上側で変化はほとんどなかった。

図-7、図-8には砕波(wv10)におけるクレスト付近の Reynolds 応力 $-\overline{uv}/U_{*w}^2$ のコンターを示した。図より、クレスト風上側では正の Reynolds 応力が、クレスト風下側で強い負の Reynolds 応力が観察される。なお、クレスト風上側・風下側で正負の Reynolds 応力をとる点は、砕波と2次元重力波(wv05)とは同様であったが、後者の流れ(wv05)ではシアアの絶対値がクレスト風下側で最大値をとるような現象は観察されなかった。すなわち、風波においては風速の増大とともに界面近傍での乱れ強度や Reynolds 応力が増加する特性があることが再認識された¹⁾が、砕波では、水・空気界面における乱流現象(せん断応力による運動量輸送など)よりもクレスト風下側における気泡混入および水流擾乱が界面における気体輸送機構に大きな影響を及ぼしている可能性が高いことが示唆される。以上より、本実験で得られた砕波のケースにおける流れ場の模式図は図-9のように考えられる。

4. おわりに

本研究は砕波を伴う風波発生下の水層界面乱流構造に関して、実験的な検討を行ったものである。砕波においてはクレスト風下側での特性が初めて観察された。

参考文献

- 1) 瀬津家久, 中山忠暢, 井上理恵, 水工学論文集, Vol.43, pp.413-418, 1999.
- 2) 瀬津家久, 中山忠暢, 水工学論文集, Vol.44, pp.897-902, 2000.

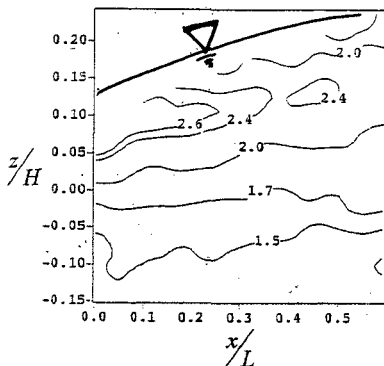


図-5 クレスト風上側
 v'/U_{*w} のコンター
(Case: wv10)

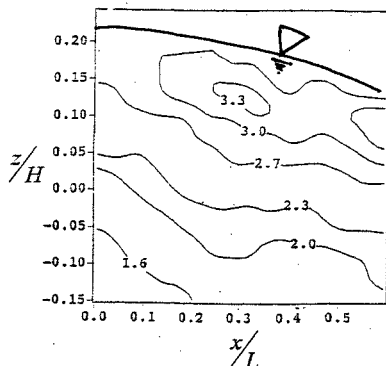


図-6 クレスト風下側
 v'/U_{*w} のコンター
(Case: wv10)

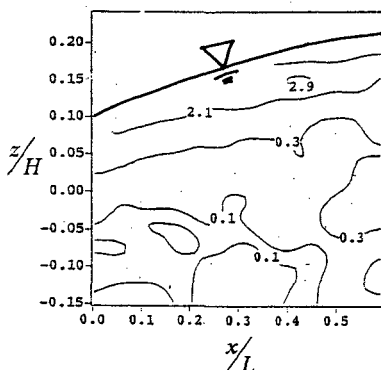


図-7 クレスト風上側
 $-\overline{uv}/U_{*w}^2$ のコンター
(Case: wv10)

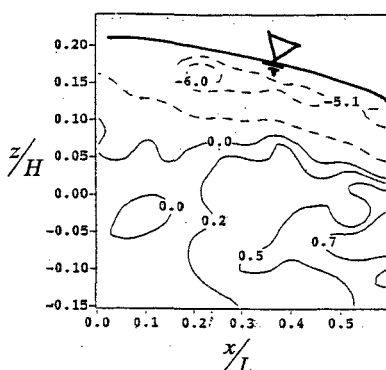


図-8 クレスト風下側
 $-\overline{uv}/U_{*w}^2$ のコンター
(Case: wv10)

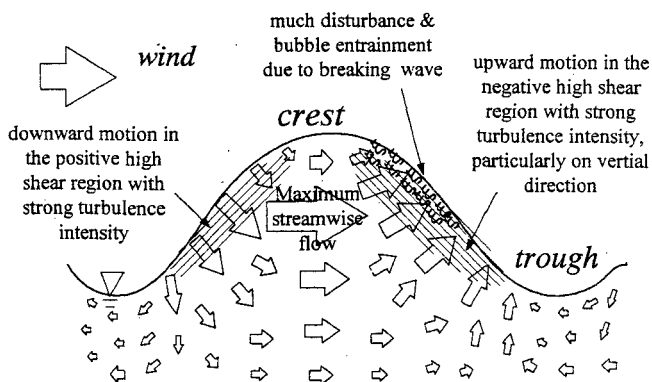


図-9 砕波(wv10)の模式図