

京都大学	学生員	○田中優太
京都大学	正会員	山上路生
京都大学	正会員	戸田圭一
京都大学	学生員	崎谷健太

1. はじめに

水・空気界面を通しての気体輸送は水中環境や水質に大きな影響を及ぼすことが考えられる．この気液界面での気体輸送が活発に行われる流れ場の一つに風波現象が挙げられる．風波は水面上に風が吹くことによって発生する波動であり，一般に吹送流が誘起される．これにより気液界面での物質・運動量交換が促進され，水層部の構造に大きな影響を及ぼすことが知られている．そのため，風波は地球温暖化，水中環境構造，水性生態系への影響といった環境問題と密接するきわめて重要なテーマであると考えられる．

風波流れによって発生する現象として近年注目されているのがラングミュア循環流であり，風下方向に軸をもつ大規模2次循環流である．このラングミュア循環流が海洋や湖沼などにおいて混合層の生成および生態系の維持に寄与するなど，気液界面下の影響に大きな影響を与えていると考えられているとともに，気液界面でのガス交換の促進にも大きく寄与することが知られている．一方で平均流が存在するいわゆる風波開水路混成流については，水深方向の水理量の分布特性はある程度わかっているが，2次流構造については国内外を通じて全く手付かずの状態である．そこで本研究ではステレオ PIV 計測を導入して風波開水路流れに生じる2次循環流の発生機構の解明に挑戦する．

2. 実験手法および水理条件

図-1 は本実験の装置図である．使用した水路は全長 16m，幅 40cm，高さ 50cm の可変勾配型風洞付き開水路である．水流部は循環式であり，今回はこの水路を開水路として扱うため，循環パイプのバルブを完全に開けた状態で実験を行なった．水路上流部にはインバータモーターで駆動する大型ファンが取り付けられており，水層上に風を吹かせることで波を発生させた．下流端には消波板を設置し，反射波による影響を抑制した．本研究では風波開水路流れに発生する2次循環流を対象とし，その発生に寄与する外力として流れと風の2つのパラメータを考慮する．流れはモータによって強制的に発生させた順流で，ケース名は

表-1 実験条件

case	H (cm)	Ua (m/s)	Um (cm/s)	Ta (°C)	Tw (°C)
op13	13.3	0	10	24.4	25.5
op13-1		3.18		24.4	25.5
op13-2		6.22		24.4	25.3
op13-3		8.78		24.4	25

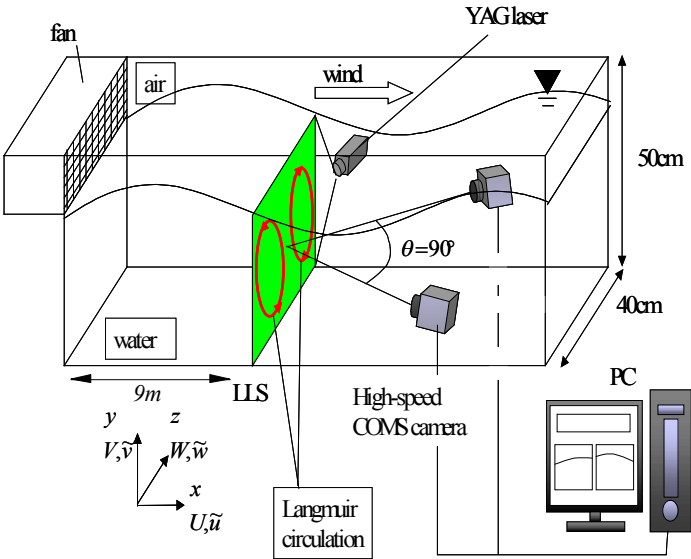


図-1 実験システムと座標系

Op(bulb Open)の頭文字を当てている．また各水路状態において風速 U_a を 4 通りに設定している．断面平均流速 U_m は全 4 ケースにおいて 10(cm/s)と統一した．水深 H は室内実験において最も現象が安定して観察されるとする 13.3cm について行った．計測面は上流から 9m である．表-1 の f_p は波の卓越周波数である． f_p は波高計データで得られた水位信号を FFT 解析することによって求めた． T_a 及び T_w はそれぞれ計測時の気温及び水温である．

3. 結果と考察

図-2 は各ケースにおける波高のパワースペクトルを示している．風速の上昇に伴って，卓越周波数が低周波側に推移し波長が増加することを意味して

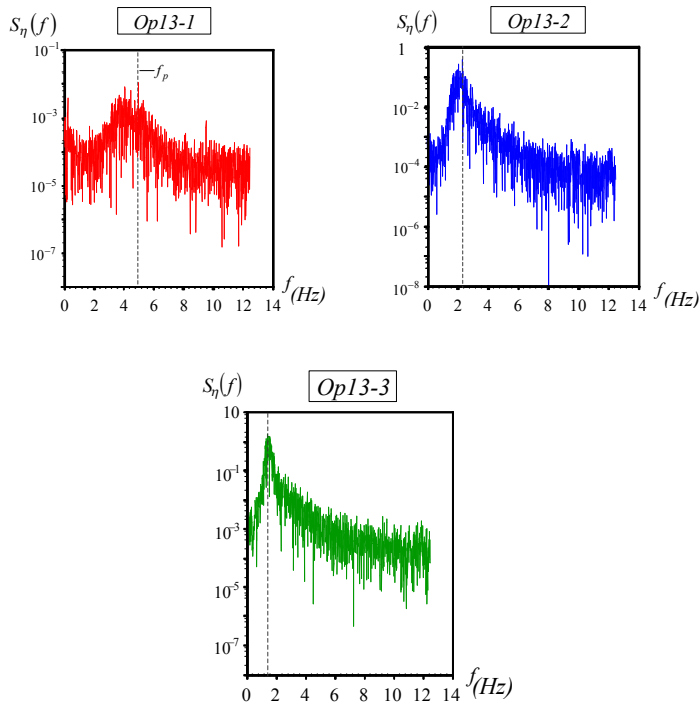


図-2 風速を与えた3ケースにおける波高パワースペクトル

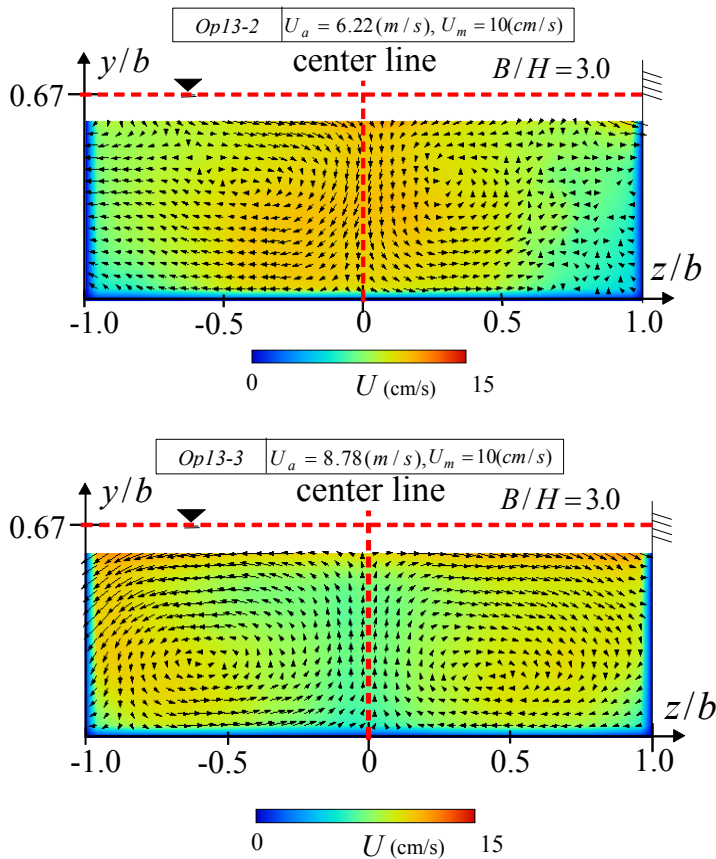


図-3 横断面3次元平均流構造（コンターは主流速成分を示す）

いる。

図-3 は本研究における計測断面の3次元構造である。縦軸が底面を $y=0$ として鉛直方向にとり、横軸に水路中央を $z=0$ として左岸方向にとり、そ

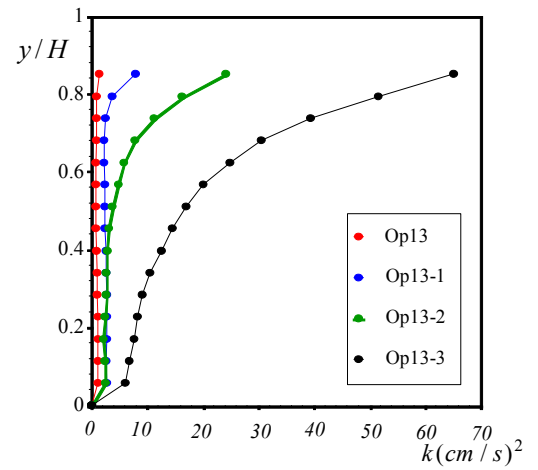


図-4 乱れエネルギーの水深方向分布

れぞれ水路半幅 $b(=B/2)$ で無次元化している。流速は平均流横断ベクトル (V, W) とコンター U の3成分を表示している。このコンター図において、2次流の上昇流が発生しているところでは主流速が減少し、下降流が発生しているところでは主流速が増加して高速流域になっていることがわかる。また、(a)のケースと(b)のケースにおいて、風速の増加に伴って2次流の渦の方向が反転しており、その境界が風速 6m/s~9m/s の間に存在することがわかる。回転方向が逆転することは大変興味深いが現段階ではそのメカニズムについては不明であり、今後も継続研究したい。

図-4 に乱れエネルギー k の水路中央付近の鉛直分布を示す。Op13, Op13-1 のケースと、Op13-2, Op13-3 のケースにそれぞれ類似性が見られる。特に Op13, Op13-1 のケースについては、水面付近と水路底面付近で変化はほぼ見られないのに対し、水面付近に近づくにしたがってエネルギーが大きくなっていることが分かる。Op13-2, Op13-3 のケースでは水面付近に近づくにつれて増加する。また、水面付近 $z=0.85$ のそれぞれの乱れエネルギーが指数関数的に増加するようにも見える。乱れエネルギーと2次流の関係についても今後継続研究する予定である。

4. おわりに

本研究では開水路における二次流をステレオPIVによって計測した。風波が発生すると比較的大規模な2次流が発生することがわかった。またこの回転方向は風速によって変化するという大変興味深い結果も得られた。