

補償流を伴わない吹送流中に形成されるラングミュア循環流

九州大学工学部エネルギー科学科	学生会員	崎田 恭平
九州大学大学院総合理工学研究院	学生会員	鶴崎 賢一
九州大学大学院総合理工学研究院	正会員	松永 信博

1. 緒論

ラングミュア循環流については古くから数多くの研究がなされてきたが、その詳細な性質が十分に明らかになっているとは言えない。その形成機構についても、波と流れの相互作用に基づく CL II 機構が今日有力視されているが、その検証例が十分でないことから未だ完全に明らかになったとは言えない。これまでのこの循環流の定性的特性や形成機構に関する研究については、Leibovich (1983) が詳細にまとめている。松永・鶴崎 (2002a, b) は、室内実験と数値計算によって風波が存在しない場合においてもこの循環流が形成されることを示した。しかしながら、この一連の研究はいずれも補償流が存在する場合において行われたものであり、沖合い海域や、沿岸域でも補償流が存在しない場合においてその結論を適用することはできなかった。そこで本研究は、風洞水槽を用いて一方向の吹送流を形成させて実験を行い、補償流を伴わない場合における循環流の形成とその特性を調べることが目的としている。

2. 実験手法

図-1に、実験で用いた風洞水槽の概要を示す。底面から20cmの高さに水平板を挿入した。水平板の風下端と消波板の間に距離をとることで、水平板の上部では風の吹送方向の吹送流が、水平板の下部では逆向きの補償流となる。この水平板の上部で可視化実験ならびに流速計測実験を行った。吹送距離4.4mの位置に測定断面を設定し、断面において風の吹送方向にx軸、断面中央から横断方向にy軸、静水面から鉛直上向きにz軸を設定した。可視化のトレーサーにはコンデンス・ミルクを用いた。流速計測には2成分LDVを用い、サンプリング周波数100Hzで8192個のデータを取得した。可視化実験ならびに流速計測実験の詳細は松永・鶴崎 (2002a, b) を参照されたい。表-1に、実験条件を示す。実験は、風波を伴う場合と、界面活性剤を用いて風波の発達を抑えた場合において行われた。表中、hは静水時の水深、Bは水槽幅を示し、B/hは横断面のアスペクト比を示す。また、 U_m は断面平均風速、 u_{w0} は水面に作用する水の摩擦速度を示している。 u_{w0} は、平均風速の鉛直分布に対数則を適用し、水面におけるせん断応力の一致を仮定して算定された。 U_m は、いずれの実験条件においてもほぼ同じ値に調節された。Sはストリークの間隔であり、1対の循環流の幅と一致することから、以降スペース

ングと呼ぶこととする。

3. 実験結果と考察

図-2に、水面変動のパワー・スペクトルを示す。図から、Run 1においては卓越周期0.2秒程度の風波が形成されていることが明瞭にわかる。一方、Run 3においてはRun 1のような明瞭なピークは認められず、高周波数の微小変動のみが存在していることがわかる。図-3(a), (b)に、Run 1および3における安定したストリーク・パターンを示す。パターンが安定するまでに要する時間は、Run 1で送風開始後約60秒、Run 3は約300秒であった。写真から、いずれの場合においても1本のストリークが形成されることから、1対の循環流が存在していることがわかる。しかしながら、ストリークが安定するまでに要する時間が短いことから、Run 1の方が循環流の形成が早いこと、またストリークの幅が狭いことから、Run 1の方が形成される循環流が強いことが推察される。また、Run 2ならびに4においては2本のストリークが形成され、いずれの場合においても2対の循環流が存在することがわかった。図-4(a), (b)に、Run 1における平均流速のx方向成分Uとz方向の二次循環流成分 \tilde{W} の鉛直プロファイルの横断方向変化を示す。(a), (b)とも縦軸はhで無次元化された鉛直軸を、横軸は u_w で無次元化された各流速成分を示す。流速成分の定義については松永・鶴崎 (2002a, b) を参照されたい。(a)では、一方向の吹送流が形成されていることがわかる。 U/u_w の鉛直プロファイルは横断方向に大きく変化する。また、断面中央付近の中層においては、鉛直方向に一樣な分布となる傾向が認められる。(b)では、断面中央部で上昇流、側面近傍で下降流となる1対の循環流が水深スケール形成されていることがわかる。また、y方向に断面中央部の広い範囲で緩やかな上昇流、側面近傍の狭い範囲で強い下降流が存在することがわかる。(a)において U/u_w の鉛直プロファイルが層で鉛直方向に一樣となること、ならびに鉛直プロファイルがy方向に大きく変化することは、この循環流による運動量の混合によるものと考えられる。図-5(a), (b)に、Run 3における U/u_w と \tilde{W}/u_w の鉛直プロファイルの横断方向変化を示す。図から、Run 1の場合と同様に、補償流のない場合において1対の循環流が形成されていることがわかる。しかしながら、(b)において鉛直流速の最大値はRun 1の最大値の2/3程度となる。従って、風波の存在は循環流を強化するということが言える。

4. 結論

補償流を伴わない場合において、可視化実験ならびに流速計測実験によりラングミュア循環流の形成とその特性を調べた。得られた主な結論は以下の通りである。

- 1) 補償流を伴わない吹送流中においても循環流が形成された
- 2) 風波の存在は循環流を強化する

また、スパーシングは水深に依存する傾向があるが、その依存性についてはさらに実験を重ねる必要がある。

参考文献

Leibovich, S.: The form and dynamics of Langmuir circulation.,
Ann. Rev. Fluid Mech., 15, pp.391-427, 1983.

松永信博, 鶴崎賢一: 吹送流中の二次循環流に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.705/II-59, pp.67-82, 2002a.

鶴崎賢一: ラングミュア循環流の形成機構に関する研究, 九州大学学位論文, 2002b.

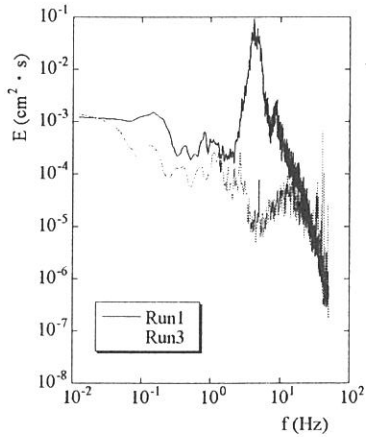


図-2 水面変動のパワースペクトル

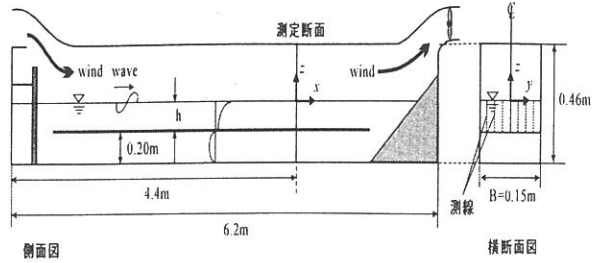


図-1 風洞水槽概要図

表-1 実験条件

風波を伴う場合

Run	h (cm)	B/h	Um(m/s)	S (cm)	S/B	u* _w (cm/s)
1	8	1.88	3.57	15	1.0	0.525
2	6	2.50	3.59	7.5	0.5	0.277

風波の発達が抑えられた場合

Run	h (cm)	B/h	Um(m/s)	S (cm)	S/B	u* _w (cm/s)
3	13	1.15	3.42	15	1.0	0.408
4	7	2.14	3.71	7.5	0.5	0.179

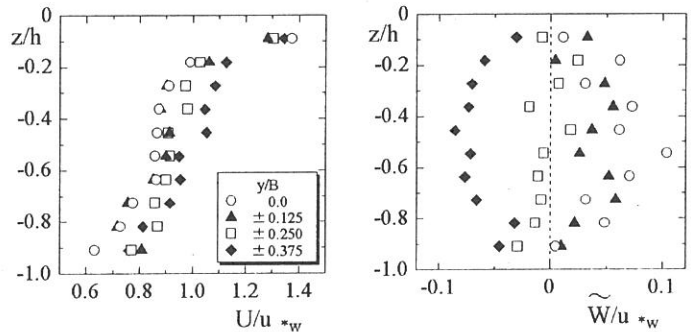


図-4 U/u_{*w} と \tilde{W}/u_{*w} の鉛直ファイル (Run1)

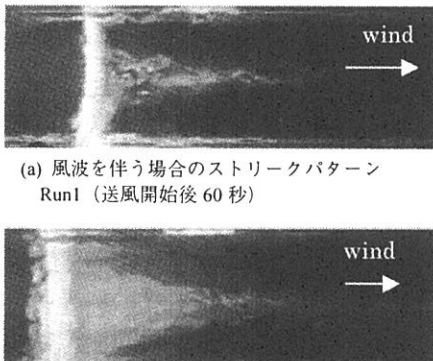


図-3 可視化実験の一例

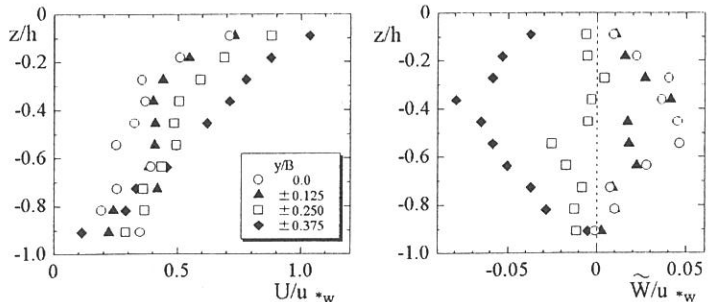


図-5 U/u_{*w} と \tilde{W}/u_{*w} の鉛直ファイル (Run3)