

吹送流中に生起する二次循環流の水深依存性に関する実験的研究

九州大学大学院総合理工学府 学生会員 ○浦上 由紀子
九州大学大学院総合理工学研究科 学生会員 鷗崎 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. はじめに

Langmuir 循環流は吹送流の表層流速の 1/3~1/4 程度の比較的大きな鉛直流速を有することから、表層混合層の形成や混合層内の物質輸送、また浅海域においては浮遊砂の輸送過程などに重要な役割を果たしていると考えられる。従って、その詳細な特性を把握し、形成機構を明らかにすることは流体力学的にも海岸工学においても非常に重要である。今日、Langmuir 循環流の形成機構としては、波と流れの相互作用による CLII 機構が有力視されているが、実験や観測による検証が十分とは言えない。また、吹送流自体の不安定による説も新たに示唆され¹⁾、未だ完全に明らかにされたとは言えないのが現状である。本論文は、この循環流の特性のひとつとして最終的な空間スケールが水深に強く依存することを実験的に明らかにする。この結果は形成機構における波の役割にひとつの示唆を与えるものである。

2. 実験装置および実験方法

実験には、水槽幅の異なる二種類の風洞水槽を用いた。図-1 に実験装置の概要を示す。実験は、長さ 5m、幅 1.2m、高さ 0.40m の水槽 W を用いて行われた。水槽底面における可視化には、トレーサーとして白色のコンデンス・ミルクを用いた。また、水表面における可視化のトレーサーには空気気泡を用いた。風上側で横断方向に一樣に気泡を発生させ、下流側で形成されるストリーク・パターンを水槽上部から撮影した。流速計測実験は、水槽の風下端から風上側 1.8m の位置に測定断面を設定した。測定断面の概要を図-2 に示す。x 軸は風下方向に、y 軸は水槽中央に原点をとり水槽の横断方向に、そして z 軸は静水面から鉛直上向きに設定した。測定断面において、測線を y 方向に 2.5cm 間隔で設定し、各側線において、z 方向に 9 点の測定点を設定した。計測には二次元 LDV を用い、流速の x 成分 u および y 成分 v を同時測定した。サンプリング周波数は 100Hz で 21504 個のデータを取得した。U および V はそれぞれ u 、 v の時間平均量である。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ついて行われた。実験条件を表-1 に示す。Run1~4 が風波を伴った実験であり、Run5~6 が界面活性剤を用いて風波の発達を抑えた実験である。S ならびに

B は、それぞれストリークの間隔と水槽幅である。また、H、 T_p 、L はそれぞれ平均波高、卓越波の周期、波長を示している。

3. 実験結果と考察

図-3 に Run1 における、可視化実験によって得られたストリーク・パターンと、 U/u_{*w} および V/u_{*w} の y 方向分布の関係を示す。(a) は水表面での可視化実験結果、(b) は中層 ($z/h=0.50$) での U/u_{*w} の y 方向分布、(c) は表層 ($z/h=0.20$) および低層 ($z/h=0.80$) の V/u_{*w} の y 方向分布、(d) は水槽底面での可視化結果を示す。 U/u_{*w} と V/u_{*w} の y 方向分布を比較すると、 U/u_{*w} の高速域において、表層の V/u_{*w} は、正から負へ、低速域において負から正へ符号が反転する傾向が認められ、低層の V/u_{*w} はその逆のパターンを示す。これより、 U/u_{*w} の高速域で二次循環流の下降流、低速域で上昇流が生じていることが分かる。中層において U/u_{*w} の y 方向分布の高速域・低速域が顕著に認められ、さらに V/u_{*w} の y 方向の周期性が表層と底層で顕著であることから、二次循環流が水深全域にわたって形成されていることがわかる。以上のことから図-4 に示されるような二次循環流が形成されていることがわかる。図-5 にストリークの間隔 S と水深 h の関係を示す。図中には水槽幅 15cm の水槽 N における松永ら²⁾の実験結果も示されている。図から、 $h/B < 0.5$ の領域では、水槽 N、水槽 W の実験結果ともに簡単な線形関係で一意にまとめられる。最小自乗法によれば、風波を伴う場合では $S=2.5h$ 、風波の発達を抑えた場合では $S=2.0h$ 程度である。このことから、最終的な Langmuir 循環流のスケールは水槽幅によらず、また風や波のパラメーターよりも水深 h に強く依存することがわかる。しかしながら、 $h/B > 0.5$ の領域においては S/B の値が一定値をとることから、循環流のスケールに側壁の影響が及んでいることがわかる。

3. 結論

1. 安定した Langmuir 循環流は水深全域にわたって形成される。
2. $h/B < 0.5$ の領域では、安定した Langmuir 循環流のスケールは波や風のパラメーターや水槽幅 B にはあまり依存せず、平均水深 h に強く依存する。

参考文献：

- 1) 松永信博, 鶴崎賢一, 浦上由紀子：吹送流中の二次循環流形成に果たす風波の役割, 土木学会海岸工学論文集, 第48巻, pp.376-380, 2001.
- 2) 松永信博, 樋田操, 草場浩平, 鶴崎賢一：二次循環流を伴う吹送流の実験的研究, 土木学会海岸工学論文集, 第45巻, pp.426-430, 1998.

表-1 実験条件

風波を伴う場合

Run	Tank	h (cm)	B/h	Um(m/s)	S (cm)	S/B
1	W	16	7.50	11.5	40.0	0.333
2		8	15.0	8.74	20.0	0.167
3		4	30.0	7.86	10.0	0.0833
4		2	60.0	7.52	5.00	0.0417

風波を抑えた場合

Run	Tank	h (cm)	B/h	Um(m/s)	S (cm)	S/B
5	W	16.5	7.27	9.55	40.0	0.333
6		9	13.3	9.75	20.0	0.167

波の諸元

Run	η_{rms} (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (s)	c (m/s)	L (m)
1	0.415	1.75	0.420	0.714	0.300
2	0.438	1.68	0.366	0.588	0.215
3	0.362	1.37	0.362	0.476	0.172
4	0.297	1.12	0.245	0.476	0.116
5	0.0278				
6	0.0389				

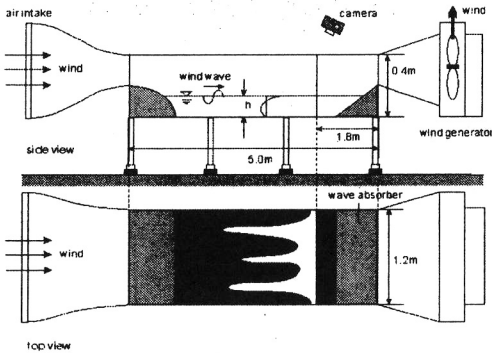


図-1 実験装置

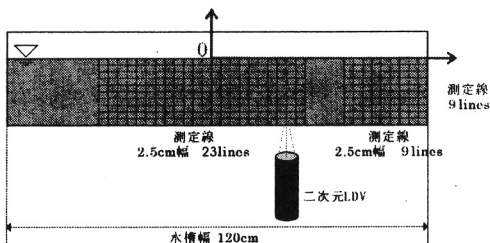


図-2 測定断面

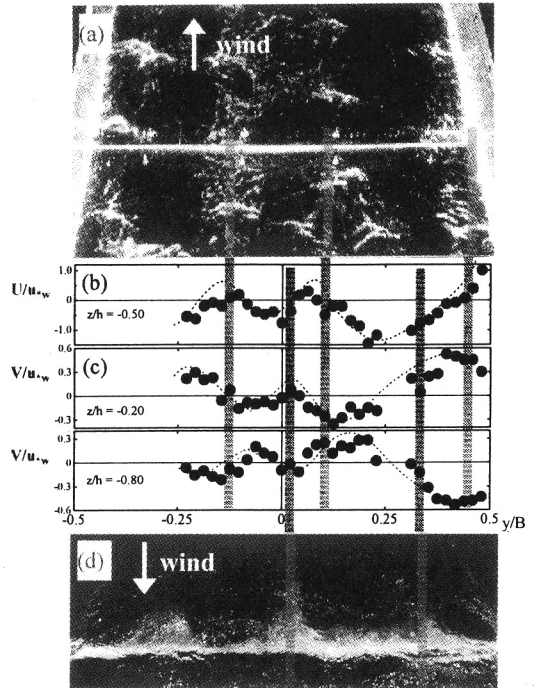


図-3 可視化実験結果と流速実験結果

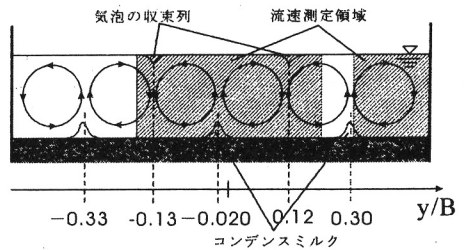


図-4 二次循環流の概念図

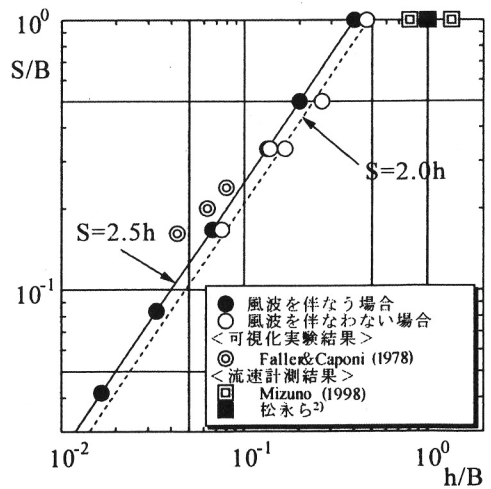


図-5 ストリークの間の水深依存性