

## 吹送流とその二次循環流の乱流特性

九州大学大学院総合理工学研究科 学正会員 ○ 鶴崎 賢一  
 学生会員 浦上 由紀子  
 正会員 松永 信博

## 1. 緒論

Langmuir 循環流は、風による海水循環のひとつとして古くから知られており、これまでに数多くの研究がなされてきた。この二次循環流は、表層混合層の形成や混合層内の物質輸送、浅海域における漂砂過程などに影響を与えているものと考えられている。しかしながら、その形成機構については諸説が入り乱れ、未だ完全に解明されたとは言えないのが現状である。

今日、その形成機構として最も有力視されているのは、Craig<sup>1)</sup>ならびに Leibovich<sup>2), 3)</sup> が提唱した、波と流れの相互作用に基づく CL II theory であるが、水理実験や現地観測などによる検証例が充分とは言えない(水野<sup>4)</sup>)。Faller & Caopni<sup>5)</sup> は CL II theory に基づいて風洞水槽を用いた可視化実験を行っているが、循環流の最終的なスケールが水深のみで規定されることにひとつの疑問を呈している。水野ら<sup>4), 6)</sup> は、水理実験の結果から、特に水槽幅の狭い水槽における吹送流中の二次循環流に対しては側壁の影響が大きいことを示唆している。近年灘岡ら<sup>7)</sup> は、数値計算によって、吹送流の鉛直シアのみによる形成機構を新たに示唆した。この説は、大気中に形成される一部の筋状の雲の形成機構としても示唆されている。著者ら<sup>8), 9)</sup> は、これまで水理実験によって吹送流中に生起する二次循環流の特性を詳細に調べ、いくつかの重要な知見を得てきた。その中で、水面波を抑制した状態でも、風波下で形成される循環流に酷似した二次循環流が形成されることは、CL II theory を検証する意味でも非常に興味深い。そこで本論文では、水面波がこの二次循環流に及ぼす影響を更に詳しく調べるため、二次元 LDV による流速計測実験を行い、その結果について検討を行った。

## 2. 実験方法

実験には、著者らの論文<sup>9)</sup> における(a) narrow tank を用いた。風洞水槽の詳細はそちらを参考されたい。水深を  $h = 15\text{cm}$  に固定し、水槽の下流端から風上側に  $1.8\text{m}$  の測定断面において計測を行った。x 軸を風下方向に、y 軸を横断面中央から、z 軸を静水面から鉛直上向きに設定し、測定断面において、y 軸方向に  $2\text{cm}$  間隔で測線を設定した。そして各測線上で 8 ないし 14 点の測定点を設定し、各測定点において、二次元 LDV を用いて流速の x 成分  $u(y, z, t)$  と z 成分  $w(y, z, t)$  を計測した。サンプリング周波数は  $100\text{Hz}$  で、取得データ個数は  $8192$  個である。また、波高の測定には容量式波高計、風速の測定にはベーン式風速計を用いた。水面波がこの二次循環流に及ぼす影響を調べるため、風波が

発生している状態 (Run 1) と界面活性剤を使用して風波を極力抑制した状態 (Run 2) でそれぞれ実験を行った。実験条件を表-1 に示す。表中、水面における水の摩擦速度  $u_w$  は、風速の鉛直プロファイルに対数分布則を適用して求められ、Run 1, 2 ともほぼ同じ値をとるよう調整された。B は水槽幅、Um は断面平均風速、H、fp、c は、それぞれ平均波高、卓越波の周波数、波速を示している。

## 3. 実験結果ならびに考察

はじめに、得られた流速データを一次循環流成分と二次循環流成分に分離する。u を例にして、各成分の定義を以下に示す。

$$u(y, z, t) = \bar{U}(y, z) + u'(y, z, t) \\ = (\langle \bar{U} \rangle + \tilde{U}(y, z)) + u'(y, z, t)$$

—: 時間平均量 (一次循環流成分),  $\langle \rangle$ : 横断平均量,

~: 二次循環流成分, ' : 乱れ成分

図-1 に、Run 1, 2 における  $\langle \bar{U} \rangle / u_w$  の鉛直プロファイルを示す。図から、一次循環流成分に関しては、水面波の影響は水表面のごく近傍に限られることがわかる。図-2(a), (b) に Run 1, 図-3(a), (b) に Run 2 における  $\tilde{U} / u_w$  と  $\tilde{W} / u_w$  の鉛直プロファイルの横断面分布を示す。いずれも、(b) において 1 対の二次循環流が形成されていることがわかる。また、この二次循環流が存在するために、(a) において一次循環流成分の鉛直分布が横断面方向に大きく変化することがわかる。しかし Run 2 では、Run 1 に比べて最大鉛直流速がほぼ 1/2 程度になり、形成される二次循環流がやや弱いことがわかる。また、Run 1 では比較的上層で形成されるのに対して、Run 2 では水深全域にわたって形成される。乱流特性量についての検討など、その他の詳細な検討は研究発表会において報告するとし、結論の概要を下記に示す。

## 4. 結論

1. 水面波の有無によらず、吹送流中には二次循環流が形成されるが、水面波を抑制した場合、二次循環流の最大鉛直流速は 1/2 程度になる。
2. 一次循環流の鉛直プロファイルは、二次循環流の存在によって横断面方向に大きく変化する。
3. 乱流特性量の鉛直プロファイルも横断面方向に大きく変化する。水面波に起因する成分は水面近傍に限られる。

## 参考文献

- 1) Craig, A. D. D., The generation of Langmuir circulations by an instability mechanism., *J. Fluid Mech.*, 81, pp.209-223, 1977.

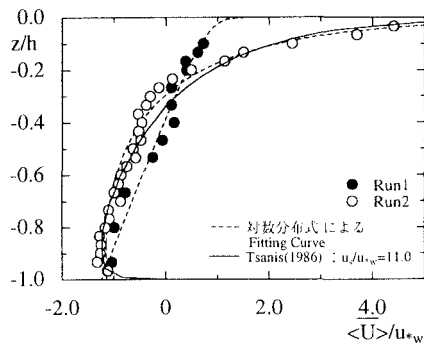
- 2) Leibovich, S., On the evolution of the system of wind drift currents and Langmuir circulations in the ocean. Part 1. Theory and averaged current, *J. Fluid Mech.*, 79, pp.715-743, 1977.
- 3) Leibovich, S., Convective instability of stably stratified water in the ocean, *J. Fluid Mech.*, 82, pp.561-581, 1977.
- 4) 水野信二郎：Langmuir 循環流の CL1 と CL2 モデルを検証する水槽実験  
平成 11 年度九州大学応用力学研究所協同研究成果報告, 3, pp.81-83, 2000.
- 5) Faller, A. J. and E. A. Caponi, Laboratory studies of wind-driven Langmuir circulations., *J. Geophys. Res.*, 83, pp.3617-3633, 1978.
- 6) Mizuno, S., H. Noguchi and Y. Kimura, A Pair of Langmuir Cells in Two Laboratory Tanks (II) On Generation Mechanism, *J. Oceanography*, 54, pp.77-100, 1998.
- 7) 灘岡和夫, 内山雄介：吹送流による沿岸境界近傍の縦渦構造の形成と物

質混合過程に関する検討, 第 44 回海岸工学講演会論文集, pp.421-425, 1997.

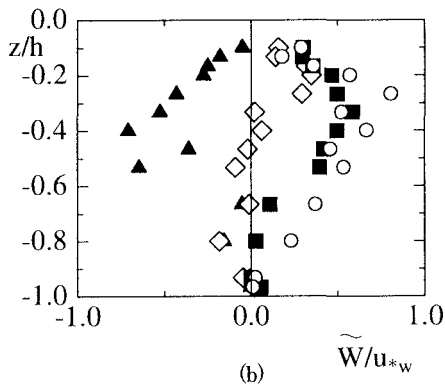
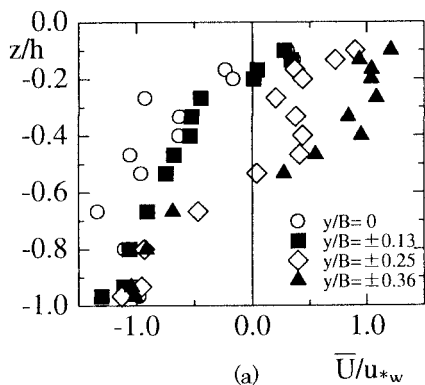
- 8) 松永信博, 檀田操, 草場浩平, 鶴崎賢一：二次循環流を伴う吹送流の実験的研究, 土木学会海岸工学論文集, 45, pp.426-430, 1998.
- 9) 浦上由紀子, 鶴崎賢一, 松永信博：吹送流中に生起する二次循環流の特性とその形成機構に関する実験的研究, 土木学会西部支部研究発表会, 2001.

表一 実験条件

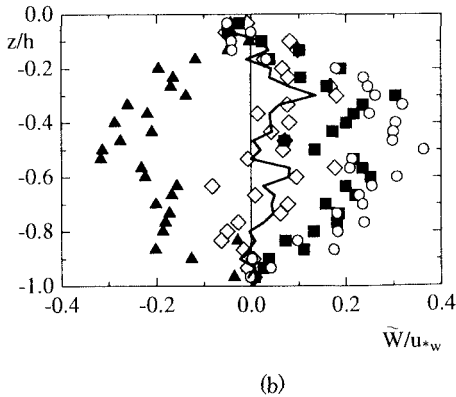
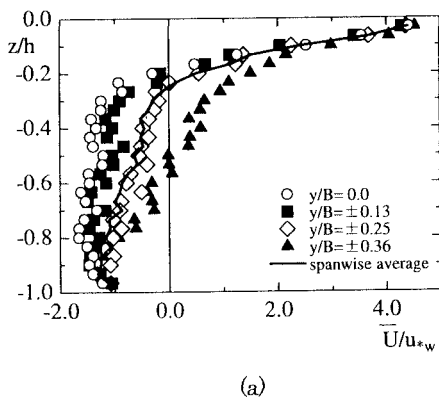
Run	Cond.	h (m)	B/h	U <sub>m</sub> (m/s)	u <sub>*a</sub> (m/s)	u <sub>*w</sub> (cm/s)	H (cm)	f <sub>p</sub> (Hz)	c (m/s)
1	waves	0.15	1.00	8.08	0.590	2.05	1.08	3.42	0.462
2	no waves	0.15	1.00	9.34	0.428	1.68	0.244	—	—



図一  $\langle \bar{U} \rangle / u_{*w}$  の鉛直分布の比較



図二  $\bar{U} / u_{*w}$  と  $\tilde{W} / u_{*w}$  の鉛直プロファイルの横断面分布 (Run 1)



図三  $\bar{U} / u_{*w}$  と  $\tilde{W} / u_{*w}$  の鉛直プロファイルの横断面分布 (Run 2)