

(II-8) 回転循環流によって生じる渦動構造に関する基礎的研究

長岡技術科学大学大学院

学生員 ○松尾 勝司

長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 細山田得三

長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 早川 典生

1. はじめに

海洋流体によって生じる大規模な渦動や海洋循環の力学を理解するためには、流れに作用する地球の自転効果を把握することが不可欠である。一定の角速度で回転している回転系においては、遠心力やコリオリ力といった特有の外力が働くために、静止系には見られない流れが生じる。本研究は回転水槽を用いて水槽内に強制的に循環流を発生させ、回転系における循環流の挙動を観察し、画像解析を用いることにより回転循環流によって生じる渦動構造の性質を調べた。

2. 実験装置

本研究で用いた実験装置の概略図を図1に示す。水平な回転板上は円形水槽（直径 82cm×高さ 55cm）である。回転板の下部には回転板とともに回転する板があり強制的に循環流を発生させるポンプなどの電気機器を設置し、これらは回転板とともに回転する。画像は水槽上部に設置した CCD カメラで撮影する。取得された信号は赤外線を使って回転系の外に設置した受信機に転送され、モニターによりリアルタイムに回転系の様子を観察できるようにした。

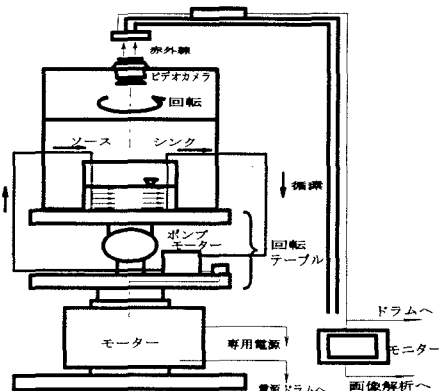


図1 実験装置概略図

3. 実験方法

本研究は循環流速と水槽回転速度を変化させ、種々のロスビー数およびエクマン数に対して循環流の挙動を調べた。実験条件を表1に示す。実験方法としては、回転系に対してポンプによって駆動される sink (吸い込み) と source (わきだし) により水槽内に強制的に循環流を発生させる。水槽内に生じた大規模な循環流の時間発展の様子はビデオ画像として記録され、PIV (Particulate Image Velocity) 法に基づく画像解析方法によって、流れ場の速度ベクトルを計測した。

表1 実験条件

	水深 h(cm)	代表流速 u(cm/sec)	回転周期 T(s)	ロスビー数 Ro	エクマン数 Ek
CASE_A1	15	18.3	5	0.089	1.18E-06
CASE_A2	15	29.3	5	0.142	1.18E-06
CASE_A3	15	38.0	5	0.184	1.18E-06
CASE_B1	15	18.3	10	0.178	2.37E-06
CASE_B2	15	29.3	10	0.285	2.37E-06
CASE_B3	15	38.0	10	0.369	2.37E-06
CASE_C1	15	18.3	30	0.534	7.10E-06
CASE_C2	15	29.3	30	0.854	7.10E-06
CASE_C3	15	38.0	30	1.107	7.10E-06
CASE_D2	15	29.3	0		

無次元パラメータのロスビー数 (Ro), エクマン数 (Ek) はそれぞれ次式で求めた。

$$Ro = \frac{U}{2\Omega L}, \quad Ek = \frac{\nu}{\Omega L^2}$$

ただし、代表流速 U は source 出口の流速 (cm/s), 代表長さ L は水槽幅 (82cm), Ω は水槽の角速度, ν は動粘性係数であり, $0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

4. 実験結果および考察

図2に回転系循環流の挙動の流速ベクトルを示す。回転系における循環流の挙動はコリオリ力の影響を受けて右に曲がり、渦を形成する様子がわかる。

[Key Word] 回転系 循環流 渦動 海洋流体 画像解析

長岡技術科学大学 (〒940-2137 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL 0258-46-6000)

そして、時間の経過とともに水槽全体に広がっていく。特にロスビー数が大きいケースで水槽内の流れが強いことを確認した。

図4(a), (b)に水槽内に広がる渦の大きさの時間変化を示す。本研究で取り扱った渦の定義は図3の通りである。これより、水槽内に生じる渦は時間とともに水槽内に広がっていき、 $t/T=50$ 位で安定した流れになり、ロスビー数が大きいケースほど短時間で水槽内に渦が広がる傾向にある。逆にロスビー数が小さいケース ($Ro<0.250$) ではばらつきがみられる。これは水槽内の渦が分裂や合体を繰り返し、不規則な変動を生じていることを示している。

図5に水槽内に生じる渦の中心位置の時間変化を示す。縦軸の値が0に近いほど渦の中心が水槽中心に近いことを意味する。これより、時間とともに渦の中心が水槽中心に近づいていく傾向にあることがわかる。

図6は水槽中心から渦中心位置までの中心角の大きさの時間変化である。縦軸の値は中心角の大きさ θ (rad)であり、 θ の値が大きいほど渦の中心が sink に寄っていることを意味する。これより、ロスビー数が0.250以上のケースにおいては時間とともに渦の中心が反時計回りに sink 側によっていくことがわかる。しかし、ロスビー数が0.250以下のケースではグラフのばらつきが大きく、水槽内の流れが複雑であることを示している。

5. まとめ

本実験で得られた回転系における流れがコリオリ力の影響を受けることが確認でき、さらにロスビー数が大きいケースほど水槽内に短時間で安定した流れを形成することがわかった。

参考文献

1)木村竜治：地球流体力学入門，東京堂出版，pp18-32

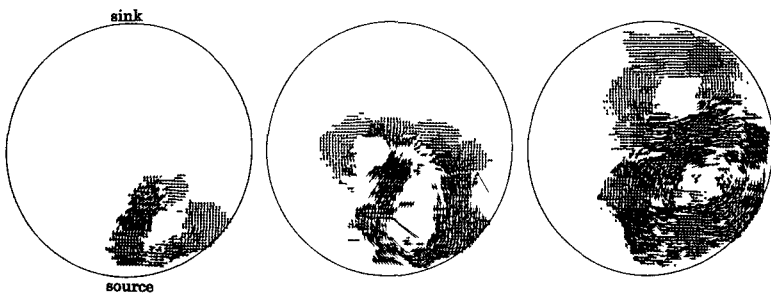


図2 回転場における循環流の挙動 ($Ro=0.369$) <左から $t=15, 75, 135$ sec>

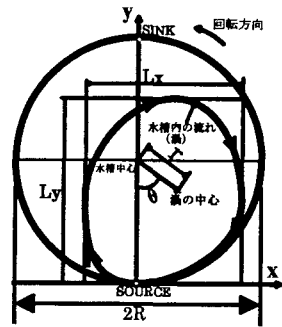


図3 渦の定義

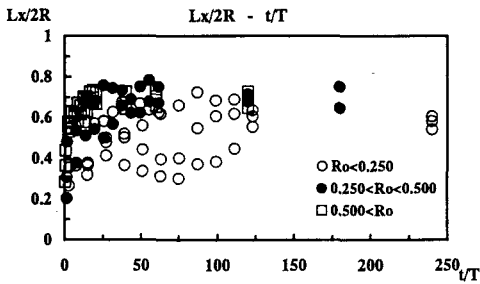


図4(a) 渦の大きさと時間の関係(x 方向)

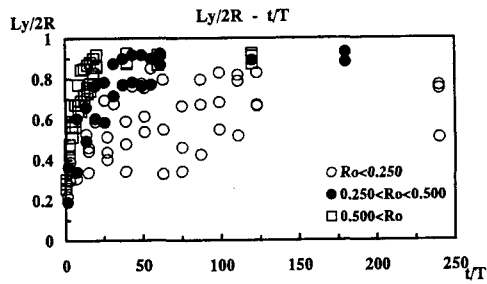


図4(b) 渦の大きさと時間の関係(y 方向)

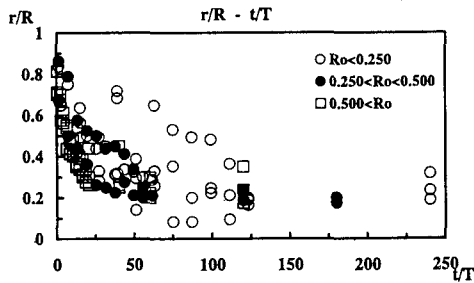


図5 渦の中心位置と時間の関係

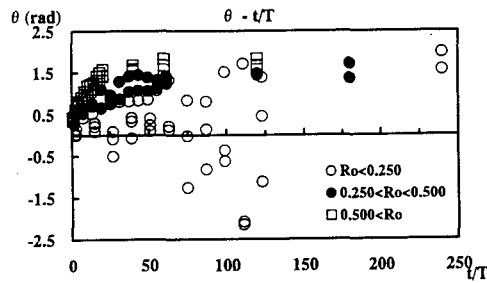


図6 渦の中心角と時間の関係