

II-191

回転場において遅い噴流が形成する渦の挙動に関する研究

中央大学大学院 学生員 森田 敦子 防衛施設庁 正員 袴田 興太郎
中央大学理工学部 正員 志村 光一 中央大学理工学部 正員 山田 正

1. はじめに 河川が湾や湖に流出するとき、その流出部付近の流れのフルード数 Fr は一般に小さく海底、河床、湖床のせん断力や、スケールによってコリオリ力の影響を受けて複雑な挙動をする。地球の自転により生ずるコリオリ力は、海洋や大規模な湖沼の流れ、あるいは地球大気の運動などを議論する際に重要であるが、どれぐらいの空間スケール、流速スケールの場合にコリオリ力が卓越するかは、未だ十分に解明されていない。さらに、回転場における噴流の長期間にわたる挙動については十分な解析が行われていない。本研究は大型回転水槽を用い実験を行い、回転場における遅い噴流の基本的特性を流体力学的に明らかにすることを目的としている。

2. 実験装置の概要および実験条件

本実験の条件は表1に示す。本研究は反時計回りに回転する水槽(大型回転水槽)を用いて実験を行った。水槽は円形水槽(直径180cm、深さ35cm)と正方形水槽(1辺200cm、深さ37cm)を使用した。噴流放出口は鉛直方向に2cm間隔で17点設置した。本実験の流速 u は2.5cm/s($Fr=0.013$)と非常に小さいため以下に述べる挙動はビデオを早送り再生することによりはじめて確認できるものである。

3. 実験条件実験結果および考察

3.1 回転場と非回転場における遅い噴流の挙動の違いについて 図1は回転場と非回転場との挙動の違いを比較したものの、非回転場では、放出された遅い噴流は3次元的に拡散するのにに対し、回転場では鉛直方向に一樣な2次元流れとなる。これは本研究においてテラ=プラウドマンの定理が成立していること示している。さらに、図2に示すように、回転場に放出した噴流は表2に示すような順序で時計回りの渦(c)と反時計回りの渦(cc)を形成し、時計回りの渦と反時計回りの渦は対(渦対)となる。

3.2 フルード数の変化による噴流の挙動の違い

図3はフルード数(本実験の場合噴流流速を変えた)の変化が噴流に与える影響を比較したものである。本実験において、フルード数が大きい($Fr=0.054$, $u=10$ cm/s)場合、噴流は曲がる。一方、フルード数が小さい($Fr=0.013$, $u=2.5$ cm/s)場合、噴流は右に曲がった後、渦を形成する。これらの現象はコリオリ力を受けたためと考えられる。またフルード数大きい場合と比較し、噴流の拡散が小さい。

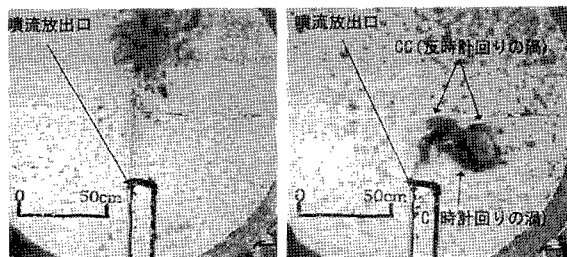
3.3 ロスビー数の変化による噴流の挙動の違い 図4はロスビー数 Ro (本実験の場合水槽の回転速度を変え

表1 実験条件

実験名	噴流流速 u (cm/s)	回転周期 T (s)	水深 h (cm)	フルード数 Fr	ロスビー数 Ro	エクマン数 E
RUN A-1	10	90	35	0.054	0.40	5.8×10^{-5}
RUN A-2	2.5			0.013	0.099	
RUN B-1		0				
RUN B-2		80			0.32	1.6×10^{-4}
RUN B-3		150			0.60	3.0×10^{-4}
RUN B-4		410			1.6	8.2×10^{-4}
RUN B-5		540			2.1	1.1×10^{-3}
RUN B-6		710			2.8	1.4×10^{-3}
RUN C-1		0				
RUN C-2		45			0.050	2.9×10^{-5}
RUN C-3		60			0.066	4.0×10^{-5}
RUN C-4		90			0.099	5.8×10^{-5}
RUN C-5		120			0.13	7.8×10^{-5}

ロスビー数 $Ro = \text{慣性力} / \text{コリオリ力}$
 $Ro = V / 2\Omega L$
 $\cdot u$: 噴流放出口から10cm地点に達するまでの平均流速
 $\cdot L$: 噴流の広がるスケール

エクマン数 $E = \text{粘性力} / \text{コリオリ力}$
 $E = \nu / 2\omega L^2$
 $\cdot \nu$: 動粘性係数 $= 0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$
 $\cdot L$: 水槽水深



非回転場 (RUN A-1) 回転場

図1 非回転場と回転場における遅い噴流の挙動の比較

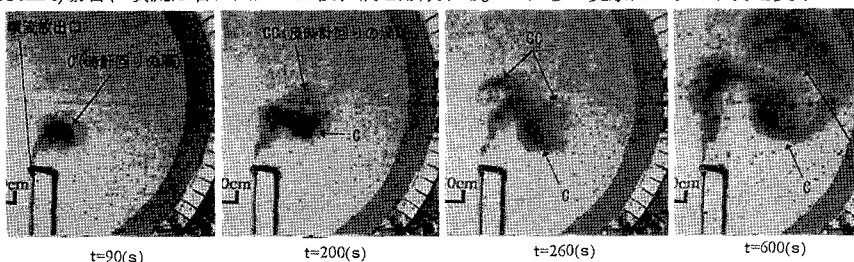
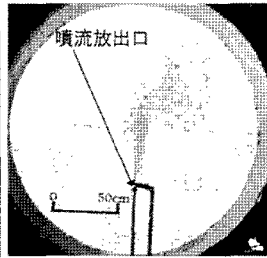
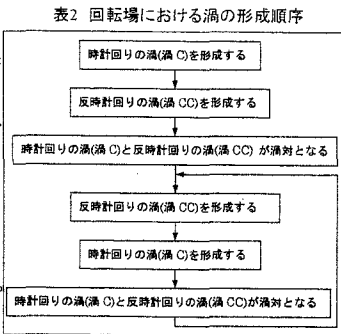


図2 回転場における渦の形成順序(RUN D-4)

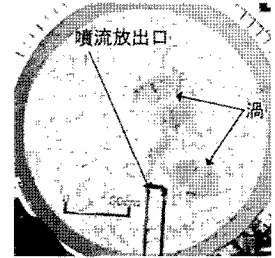
キーワード: 回転場、コリオリ力、ロスビー数、フルード数

連絡先: 中央大学理工学部土木工学科水理研究室 〒112-8551 文京区春日1-13-27 TEL03-3817-1805

た)の変化が噴流の挙動に与える影響を比較したものである。本実験において、図中の各点は、噴流の先端位置を各ロスビー数ごとに5秒置きにプロットした。 $Ro=2.8$ のときは、非回転の場合



フルード数が大きい場合



フルード数が小さい場合

図3 フルード数の変化による遅い噴流の挙動の違い

合とほぼ同じ挙動を取るのに対し、 $Ro=2.1$ よりロスビー数が大きくなると噴流は右に曲がる。本実験において噴流がコリオリ力の影響を受け始めるのは $Ro=2\sim3$ である考えられる。

3.4 輝度分布とコリオリ力の関係 図5に示すように時計回りの渦は、中心部分の輝度値が一番低く、渦中心部から渦のエッジ方向へ段階的に輝度値が高くなるのに対して、反時計回りの渦の輝度は時計回りの渦に比べ輝度値により渦の中心を判別しにくい。これより時計回りの渦と反時計回りの渦の形成機構には違いがあると考えられる。次に図6のようにコリオリ力は時計回りの渦の中心部(輝度値が最も低い部分)に向かっている。

3.5 回転系の閉鎖領域での遅い噴流の挙動 本実験で用いた回転水槽のように閉鎖された領域において、回転場に遅い噴流が形成した渦群は時間の経過とともに全体として時計回りの流れを形成する。この状況は図6の流速場より明らかである。

4. まとめ 1)フルード数が小さいほど噴流は大きく右に曲がり、多くの渦を形成した。2)ロスビー数が1のオーダから噴流は非回転の場合と異なる挙動を示し始め、ロスビー数が小さくなるほど噴流は大きく右に曲がる。3)回転場において遅い噴流は3)回転系の閉鎖領域では、遅い噴流によって形成された渦群は時計回りの流れとなる。

参考文献 1)森田敦子・袴田興太郎・志村光一・山田正:回転場に形成された渦の形成機構と特性について、水文・水資源学会 1998 年度研究発表会要旨集, pp. 214-215, 1998 2)袴田興太郎・森田敦子・池永均・志村光一・山田正:回転場に形成される2次元渦群の諸特性に関する実験的研究, 土木学会第52回年次学術講演会第2部, pp. 572-573

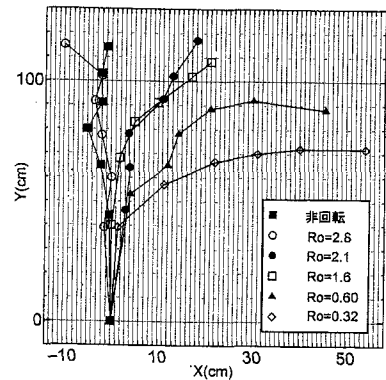


図4 ロスビー数の変化による遅い噴流の挙動の違い

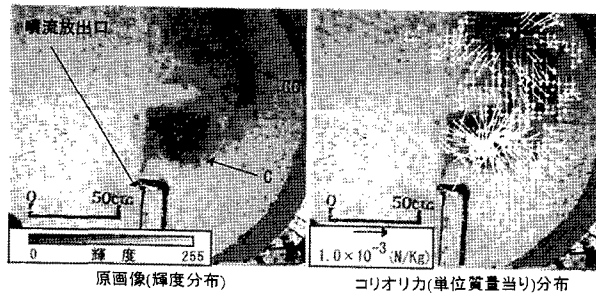


図5 流速分布図(RUN D-3 $t=900(s)$) 原画像 流速ベクトル図

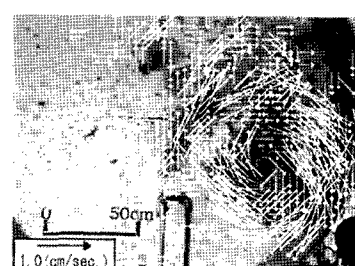
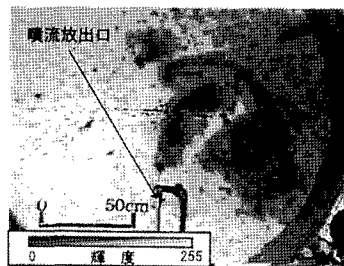


図6 流速分布図(RUN D-3 $t=900(s)$) 原画像 流速ベクトル図