

II-259

閉鎖性水域に流入する遅い流れに対するコリオリ力の効果

中央大学大学院 学生員 大東 淳一 中央大学理工学部 正 員 池永 均
中央大学理工学部 正 員 山田 正 北見工業大学 正 員 内島 邦秀
建設省土木研究所 正 員 笠井 雅弘

1. はじめに 河川が湾や湖に流入する時、その流入部付近の流れは一般にフルード数が小さく、流入後は湖床上のせん断応力やスケールによってはコリオリ力の影響を受けて複雑な挙動をする。本研究は模型スケールの水域に対して、噴流出口のフルード数が非常に小さい遅い流れの挙動に関して実験を行い、コリオリ力の効果について考察し、数値解析の結果と比較検討することを目的としている。

2. 実験内容及び方法 表1に実験条件を示す。本実験は噴流流速及び回転周期を変え、ロスビー数 Ro による噴流の挙動の違いを明らかにすることを目的としている。本実験で用いた水槽は200cm×200cmの正方形で深さ30cmであり、水槽全体は回転台の上に設置されている（図1）。噴流流速は回転がない状態でトレーサ先端が噴流出口から10cm地点に達するまでの平均流速である。

3. 実験結果 図2は回転場での噴流の挙動の時系列である。著者らはこれまでに、噴流出口のフルード数が非常に小さい噴流が、噴流軸に対して左右交互に渦を発生させつつ蛇行しながら進むことを模型実験及び数値解析により明らかにしてきた^{1), 2)}。本実験の全てのケースにおいて噴流は蛇行し、さらに噴流が噴出した瞬間、噴流軸が回転効果により右に曲げられ、その後左に曲がり、以後大きく左右に揺動し続けている。また既に噴出したトレーサも塊となって全体的に振動する。揺動の周期は $Ro=0.12$ (RUN1), 0.29 (RUN2), 0.58 (RUN3), 2.9 (RUN4)のそれぞれの時で17sec, 36sec, 82sec, 84secであった。これらのことから水槽の回転周期が大きくなるにつれ揺動の周期は大きくなり、 Ro が小さくなるにつれ揺動の振幅は大きくなることが言える。

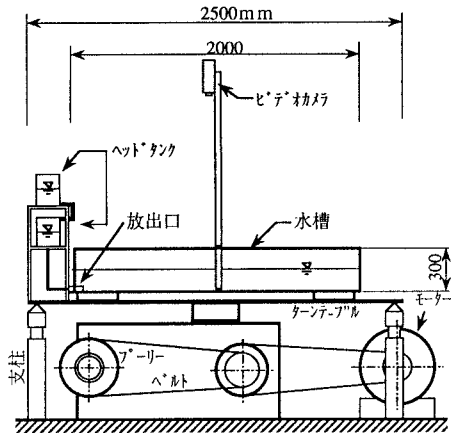


図1 回転水槽概要図

表1 実験条件

	水深 h(cm)	噴流流速 v(cm/s)	フルード数 Fr	レイノルズ数 Re	回転周期 T(s)	ロスビー数 Ro	エクス数 E
RUN1	1	2.3	0.07	230	60	0.12	0.05
RUN2	1	2.3	0.07	230	150	0.29	0.13
RUN3	1	2.3	0.07	230	320	0.58	0.25
RUN4	1	10	0.32	1000	320	2.5	0.25

$Re = VL/\nu$ (代表流速 V : 噴流流速、代表スケール L : 噴出幅=1cm)
 $Ro = V/2\omega L$ (代表流速 V : 噴流流速、代表スケール L : 噴流の広がる最大スケール=1m)
 $E = \nu/2\omega L^2$ (代表スケール L : 噴出幅=1cm)

表2 計算条件

	水域スケール (cm ²)	水深 (cm)	流入幅 (cm)	渦動粘性係数 (cm ² /s)	フルード数 Fr	流入流速 (cm/s)	コリオリ パラメータ
RUN1	200×450	20	10	2	0.07	10	0.1571
RUN2	200×450	20	10	2	0.07	10	0

・流出なし ・スリップ条件 ・底面摩擦係数ゼロ

4. 噴流軸揺動の考察 以下に2つの考察を挙げる。1) 噴流は回転効果によりコリオリ力の影響で右に曲がる。ところが底面からある厚さの層での噴流は水の粘性による底面との摩擦力のため、コリオリ力の影響は受けず、直進する。テイラー・プラウドマンの定理より、回転系に相対的に生じる緩やかな流体運動は高さ方向に一樣であるので、右に曲げられた噴流はまっすぐ進もうと左へ戻り、その勢いでそのまま左へと曲がる。以後これの繰り返して揺動を続ける。2) 1)と同様に噴流は右に曲がる。その後噴流が右に曲がったことで多少の水面勾配ができ、それにより噴流は左へ曲がる。以後これの繰り返して

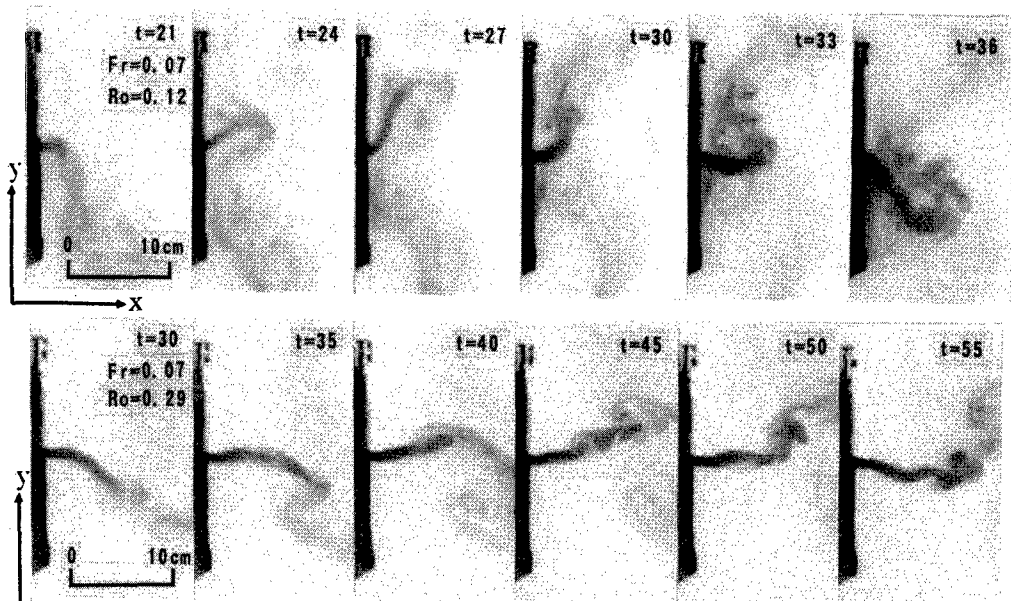


図2 回転場における遅い噴流の時系列(sec)

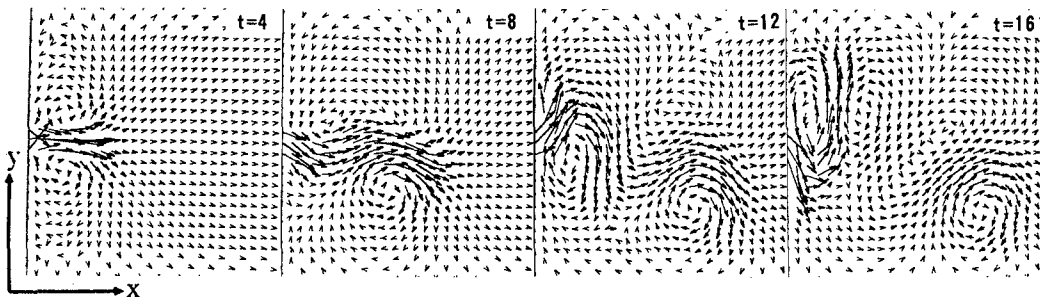


図3 遅い流れが水域に流入する場合（回転場）の数値解析結果のベクトル図(sec) $Fr=0.07$ $Ro=0.14$

で揺動を続ける。

5. 数値解析 表2は本解析における計算条件、図3は回転場での噴流の挙動の時系列である。基礎方程式は浅水長波方程式と連続式で、FEMにより解析を行った。図3の回転場において、噴出開始直後に噴流出口の両側に対称的な渦が発生する。その後出口の左側に3つ目の渦が発生し、それまで保たれていた流れの中心線に対する対称性が崩れ、噴流は蛇行を開始する。噴流出口付近に注目すると、噴出後8secで噴流軸は右へ曲がるが12secでは左に曲がり、16secで再び右に曲がる。以後実験と同様に噴流軸は左右へ繰り返して揺動を続ける。非回転場においても回転場と同様に噴流軸は揺動することが確認できたが、非回転場よりも回転場での揺動のほうが大きいことが確認できた。

6. まとめ 1)実験と数値解析において、回転場における噴流出口のFrが非常に小さい噴流は噴流軸が大きく左右に揺動することが確認できた。2)数値解析において、非回転場においても噴流軸は揺動したが、回転場の方がより大きく揺動した。

参考文献 1)笠井雅弘、寺本康宏、内島邦秀、池永均、山田正：土木学会第50回年次学術講演会概要集2-A, p. 330-331, 1995 2)池永均、山田正、内島邦秀、笠井雅弘、大東淳一：土木学会第23回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 326-327, 1996

謝辞 本研究の遂行に当たり、文部省科学研究費試験研究(b)(1)（代表 山田正）を受けている。ここに記して感謝の意を表す。