

II-177

空気吸い込み渦に関する研究

山梨大学大学院 学生員 ○吉本 尚樹
 山梨大学工学部 正 員 荻原 能男
 山梨大学大学院 本多 重徳
 山梨県庁 野村 浩正

1. はじめに

貯水池、水槽等から管路により取水する際に、管路の入り口の部分に流出渦という回転流が発生する。この流出渦は、水面に窪みが発生する「窪み渦」と、水面が窪んで空気が流出口に吸い込まれる「空気吸い込み渦」とに分けられる。

これまでの研究によって、流出渦（窪み渦、空気吸い込み渦）の発生領域のうちで、流量の小さい範囲については半径方向レイノルズ数の値によってその発生領域を定められることが判明している¹⁾。本研究では流出渦の発生についてさらに検討するため、液体の粘性を変えて実験を行い、流出渦の発生に液体の粘性が影響しているか検討した。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は図-1に示すように高水槽、低水槽、実験水槽を管路で結んだものである。実験水槽は縦横が500mm、高さが810mmの箱型で水槽底面の中央から鉛直下方に流出管を出し流出渦を発生させるようにしてある。高水槽から実験水槽の横に液体を補給し3枚の整流板により一様に流入するようにした。液体は低水槽→高水槽→実験水槽→低水槽と循環させた。流出管の内径は3.94cm、3.01cmの2種類が設置できるようにした。

今回の実験に用いた液体は、水とベントナイトの混合液である。ここでは水とベントナイトの混合割合を変えることによって液体の動粘性係数を変化させた。実験の結果、重量濃度と動粘性係数の関係は表-1のとおりである。

諸水理量は、「窪み渦」、「空気吸い込み渦」発生時に水深、流量、水温、動粘性係数、重量濃度を測定した。

3. 実験結果

流出渦は水深が浅くなると発生しはじめ、最初に窪み渦が発生しはじめ、さらに水深が浅くなると空気吸い込み渦が発生する。このことからわかるように、窪み渦、空気吸い込み渦ともにその発生領域の中で最も水深が深いところが存在する。ここでは、この状態を「発生限界」とし、またこの時の水深を「発生限界水深」とする。

窪み渦、空気吸い込み渦ともに発生しはじめる段階では、図-2のように渦の外側では水面はほぼ水平であり、水深hは一定である。

流量をQとすると、r方向（半径方向）の平均流速は

$$u = -\frac{Q}{2\pi rh} \quad (1)$$

であるから、半径方向のフルード数 F_{rr} （遠心力/重力）は

$$F_{rr} = \frac{u}{\sqrt{gr}} = \frac{Q}{2\pi rh\sqrt{gr}} \quad (2)$$

となる。しかし、この係数 F_{rr} には変数rが含まれており常数とはならない。そこで、rに内径dあるいは水深hを与えて、係数 F_{rr} が窪み渦

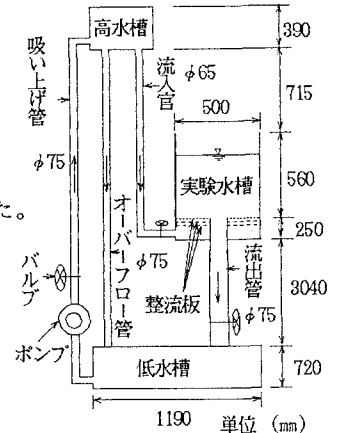


図-1 実験装置の概略

表-1 ベントナイトの重量濃度と動粘性係数の関係

液温 (℃)	重量濃度 (%)	動粘性係数 (cm^2/s)
13~21	0	0.0108
11~25	1.33	0.0184
16~20	3.46	0.0380
9~23	3.48	0.0538
11~13	4.66	0.0834
10~13	5.37	0.1094

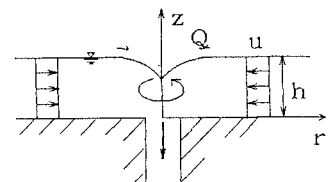


図-2 座標系

及び空気吸い込み渦の発生にどのように関係するか調べた。

また、発生限界水深比（ h/d ）、管内フルード数 F_r 、半径方向フルード数 F_{rr} の間には次のような関係がある。

$$\frac{h}{d} = \frac{F_r}{8F_{rr}} \quad (F_{rr} \text{ の } r \text{ を } d \text{ とした場合}) \quad (3) \quad \frac{h}{d} = \left(\frac{F_r}{8F_{rr}} \right)^{0.4} \quad (F_{rr} \text{ の } r \text{ を } h \text{ とした場合}) \quad (4)$$

窪み渦、空気吸い込み渦の発生限界における管内フルード数 F_r と発生限界水深比（ h/d ）のデータを図にプロットしたのが図-3～4である。これらの図から、発生限界の際の半径方向フルード数 F_{rr} は一定で

あるとして、 r に管の径 d あるいは水深 h を代入して、式（3）、（4）の関係をを用いて発生限界線を引いてみたところ、 r に管の内径 d を代入したほうが窪み渦、空気吸い込み渦ともに実験データとよく一致することがわかる。また、この半径方向フルード数は動粘性係数、発生形態が同じ場合でも内径によって異なる値をとることがわかる。他の動粘性係数の場合も同様な結果が得られた。

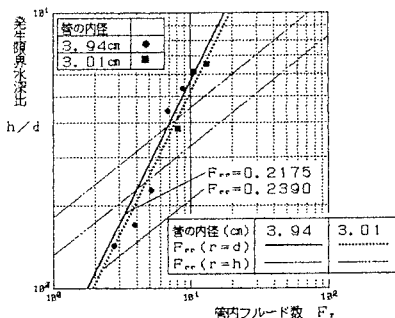


図-3 窪み渦の発生限界
動粘性係数 $\nu = 0.0538 \text{ cm}^2/\text{s}$
液温 $9 \sim 23^\circ\text{C}$

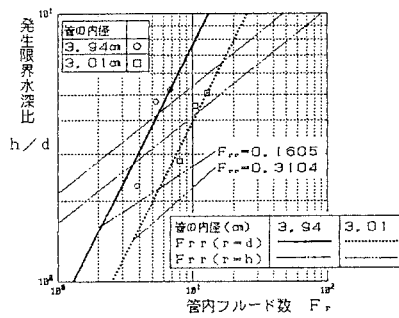


図-4 空気吸い込み渦の発生限界
動粘性係数 $\nu = 0.0184 \text{ cm}^2/\text{s}$
液温 $11 \sim 25^\circ\text{C}$

次に窪み渦、空気吸い込み渦の発生限界の半径方向フルード数 F_{rr} と動粘性係数の関係は図-5、6のようになった。これらから、液体の動粘性係数が大きくなると半径方向フルード数 F_{rr} は大きくなり、空気吸い込み渦のほう動粘性係数に対する半径方向フルード数の増加率（傾き）が大きいことがわかる。

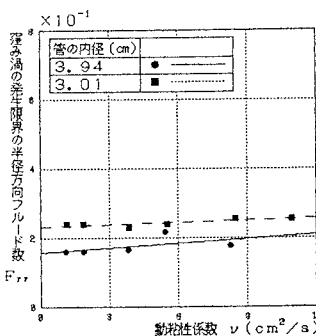


図-5 窪み渦の発生限界の半径方向フルード数と動粘性係数の関係

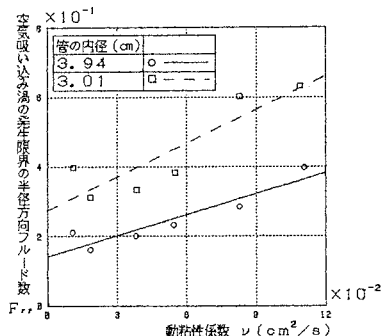


図-6 空気吸い込み渦の発生限界の半径方向フルード数と動粘性係数の関係

4. まとめ

本研究では、液体の粘性を変えて流出渦に関する実験を行いそれについて検討した結果、流出渦の発生限界を半径方向フルード数 F_{rr} の r に内径 d を代入した係数で、発生限界を定められることが判明した。

また、今回は遠心力と重力の影響を考えた半径方向フルード数 F_{rr} で流出渦の発生について検討した結果この半径方向フルード数 F_{rr} は粘性によって異なる値をとることがわかった。これは、流出渦の発生には遠心力、重力以外に液体の粘性も影響しているということである。窪み渦と空気吸い込み渦に関する液体の粘性の影響を半径方向フルード数 F_{rr} で比べた場合、空気吸い込み渦のほうが粘性の影響が大きいということがわかった。

参考文献

- 1) 荻原能男：流出渦の発生と液体の粘性について，土木学会水工学論文集 第37巻，1992年3月
- 2) 荻原能男：空気吸い込み渦の発生を示す新たな係数の提案，日本機械学会論文集 B編59巻559号，1993年3月