

II-96

液体の粘性を考慮した流出渦に関する研究

J R 東 日本 正会員 奥村幹夫
山梨大学工学部 正会員 荻原能男
山梨大学工学部 正会員 宮沢直季

1, はじめに 従来は水を用いた空気吸い込み渦の実験を行ってきたが、本研究では水のみでなく水にベントナイトを混ぜた混合液体を作製し、粘性が水の粘性の10倍になるまで6段階に分けて実験した。各設定濃度ごとの空気吸い込み渦発生水深とレイノルズ数等のデータから、液体の粘性係数と流速等が空気吸い込み渦にどのような影響をおよぼすか調べるのを目的とした。また、粘性を考慮した場合の空気吸い込み渦の安定性について、理論展開をおこなった。

2, 理論 (1)特性方程式の誘導 円柱座標系(r, θ, z)を採用した運動方程式と連続の方程式を、①流れは z 軸に関し軸対称として、 θ 方向の微分量は無視する。②流体は非圧縮性とする。③2回微分項は他の項と比較して、微小として無視する。④流れは定常とする。⑤外力は重力のみとする。以上の条件を考慮して変形し特性方程式を求めると、次の3つの式になる。

$$\frac{dr}{u(1+\xi)} = \frac{dz}{w} \quad (2-1) \quad d(vr) = 2v \frac{\xi}{1+\xi} dr \quad (2-2)$$

$$u du + w dw + g dz + \frac{1}{\rho} dp - \frac{v^2}{r} dr = \nu d\left(\frac{u}{r}\right) \quad (2-3)$$

u : r 方向の速度成分 v : θ 方向の速度成分 w : z 方向の速度成分 t : 時間 ρ : 流体密度 ν : 流体の動粘性係数 g : 重力加速度 p : 圧力 ξ : 無次元数 $\xi = -\nu/(ur)$ これらの式は同時に成立する必要がある特性方程式で式(2-1)は完全流体の場合には流線に相当する方程式であり、粘性流体の場合には流線より $(1+\xi)$ 倍だけ r 方向に変化し、流線よりその分ずれることになる。式(2-2)は循環 $\Gamma = 2\pi r v$ の r 方向への変化を示し、式(2-3)はエネルギー方程式を示す。

(2)循環 Γ の伝播方法 循環 Γ の時間的変化を図2-1と図2-2で表すと安定渦は、循環 Γ が時間とともに減少しながら外側から内側に移動して有限時間内に中心軸に到達し、 $\Gamma = 0$ となる。

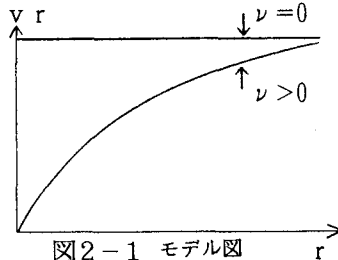


図2-1 モデル図

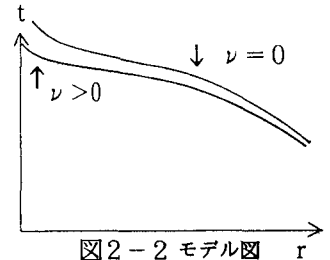


図2-2 モデル図

(3)流出渦の安定性について 一般に $u < 0$ であるから

$$\frac{\partial(rv)}{\partial r} > \frac{2\nu v}{\nu - ru} \quad \text{のとき} \quad \frac{\partial v}{\partial t} > 0 \quad \text{となり} \quad \text{発達}$$

$$\frac{\partial(rv)}{\partial r} = \frac{2\nu v}{\nu - ru} \quad \text{のとき} \quad \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \text{となり} \quad \text{安定}$$

$$\frac{\partial(rv)}{\partial r} < \frac{2\nu v}{\nu - ru} \quad \text{のとき} \quad \frac{\partial v}{\partial t} < 0 \quad \text{となり} \quad \text{消滅}$$

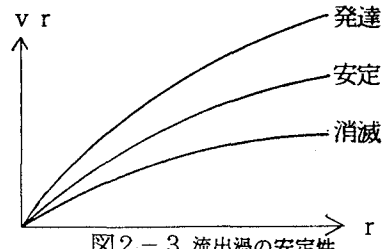


図2-3 流出渦の安定性

渦を安定させるためには、渦の外周より常に大きくなる循環 Γ を補給する必要がある。

3, 実験方法 ベントナイト設定重量濃度(0%(水)・1.78%・3.33%・4.15%・4.69%・5.09%)と吸い込み口内径($d = 2.03\text{cm} \cdot 3.23\text{cm} \cdot 5.15\text{cm}$)及び流量 Q を変化させながら、各渦形態発生時の水深 H 、流量 Q 、動粘性係数 ν 、重量濃度 C_w 、水温を測定する。渦形態は、「A: 水面に渦がない状態、B: 水面にくぼみ渦が確認

できる状態、D：空気吸い込み渦の状態、E：渦ができずにおちこむ状態」を観測する。

4. 実験結果および考察 (1)レイノルズ数($Re = 4Q/(\pi \nu d)$)と相対水深(H/d)の関係 横軸をレイノルズ数、縦軸を相対水深としたグラフを、濃度(以下粘性係数と記す)及び管内径別にプロットしたグラフの例(設定重量濃度1.78%で吸い込み口内径3.23 cm)を図4-1にのせる。一般的には横軸及び縦軸に平行な直線を漸近線とするDennyやYoungらの研究から得られたいわゆるDennyCurveによって表される。つまりある流量より少ない流量では渦は発生しないこと(以下この点を発生最小点という)、流量を増やしてもある水深以上になれば渦は発生しないこと(以下この点を最大点という)がいえる。(2)動粘性係数(ν)と流速(V_{min})の関係 管内径ごとに粘性係数を変化させ空気吸い込み渦が発生する最小の流速と動粘性係数との関係を抜き出し、最小二乗法によりそれぞれ直線をひき、発生限界時の流速に粘性の及ぼす影響をみようとしたのが図4-2である。粘性係数が高くなるにつれて空気吸い込み渦の発生限界が管内径別に变化しているので、Dennyなどが提唱する等流速相似則があてはまらなくなっている。粘性係数が高くなるにつれて、管内径が小さい場合空気吸い込み渦の発生には大きな流速を必要としている。(3)動粘性係数(ν)とレイノルズ数(Re_{min})の関係 管内径ごとに粘性係数を変化させ空気吸い込み渦が発生する最小のレイノルズ数と動粘性係数との関係を抜き出し、最小二乗法によりそれぞれ直線をひき、発生限界時のレイノルズ数に粘性の及ぼす影響をみようとしたのが図4-3である。管内径が小さいほど粘性係数が大きくなると Re_{min} が小さくなっている。(4)動粘性係数(ν)と相対水深(H/d_{max})についての関係 管内径ごとに粘性係数を変化させ空気吸い込み渦が発生する最大の相対水深と動粘性係数との関係を抜き出し、最小二乗法によりそれぞれ直線をひき、発生限界時の相対水深に粘性の及ぼす影響をみようとしたのが図4-4である。流量は実験水槽の高さとポンプの性能によって測定できる最大値に限りがあり、最大相対水深点がとれていない箇所があるが、粘性係数と管内径の違いによる H/d_{max} の顕著な変化はみられなかった。

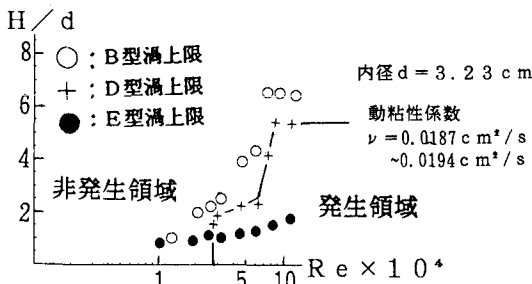


図4-1 各渦形態発生位置の実験値

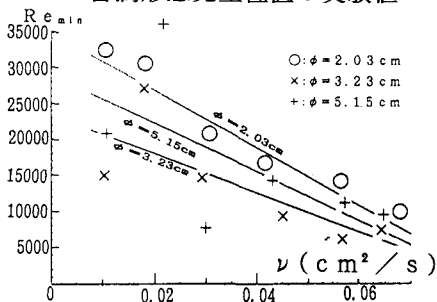


図4-3 動粘性係数とレイノルズ数の最小値の関係

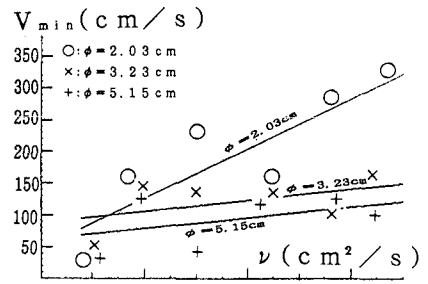


図4-2 動粘性係数と流速の最小値の関係

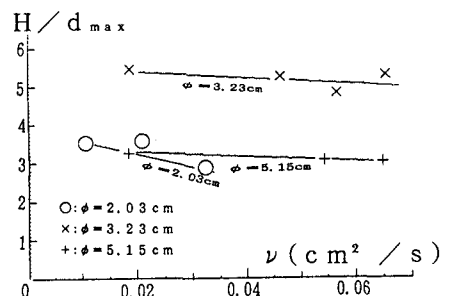


図4-4 動粘性係数と相対水深の最大値の関係

【謝辞】本研究は、石氏琢哉氏・鳥羽賢二氏の多大な協力を得た。末尾ながら深謝の意を表する。

【参考文献】荻原能男：空気吸込渦に関する研究，土木学会論文報告集第215号，1973