窪み渦空気吸い込み渦の発生限界に関する研究

山梨大学大学院　学生会員　右近　徹
山梨大学工学部　正会員　　荻原　能男

１．はじめに

流出渦は液体の粘性により発生する水深が異なる。例えば下水や油のように水と比べて比較的液体の粘性の大きい場合は、その発生水深が異なる。したがって取水の設計をする際には取水する液体の粘性も考慮する必要がある。流出渦の発生限界の推定に液体の粘性の影響について研究することは工学的に重要な課題である。

本実験では、水とベントナイトの混合溶液を作成し、その濃度を変えることによって液体の粘性を変化させ、液体の粘性が流出渦へ及ぼす影響を研究する。ここでは、半径方向レイノルズ数をもとに発生限界を推定し、それをもとに液体の粘性の影響を考察し検討した。

２．窪み渦、空気吸い込み渦の発生限界を示す新しい半径方向レイノルズ数の提案

管内への流入量が少ない場合は半径方向レイノルズ数Ｒｒ＝$Q/2\pi h\nu=\rho Q/2\pi h\mu$で渦発生領域を説明できることをすでに発表した。[1)]しかし、管内への流入量が大きい場合には別の新しい半径方向レイノルズ数を考えなければならない。

粘性を持った流体が層流で流れている場合のせん断力　　$\tau=\mu du/dy$　…（１）

粘性の効果と乱流運動の効果が共存する流れの場合のせん断力　$\tau'=(\mu+\varepsilon)du/dy$ …（２）

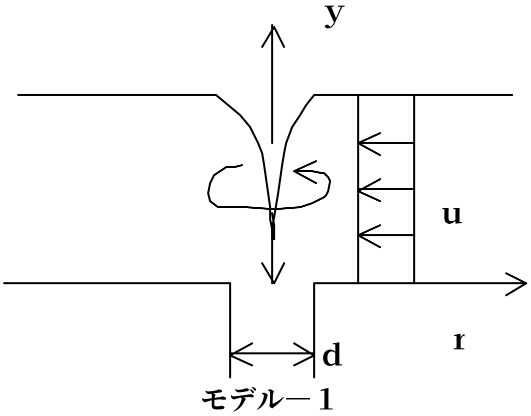
管内への流入量が少ない場合の半径方向レイノルズ数 R_r の式と、式（１）、（２）より管内への流入量が大きい場合の新しい半径方向レイノルズ数 R_R を求める。

$$R_R=\frac{rQ}{2ph(m+e)}=\frac{Q}{2ph(n+e/r)}=\frac{Q}{2phn(1+e/m)} \cdots（３）$$

ここで半径方向レイノルズ数Ｒｒ＝$Q/2\pi h\nu$、管内レイノルズ数Ｒｅ＝$4Q/pmd$ 、新しい管内レイノルズ数 $R_{eL}=4Qr/ped$ と定義すると、新しい半径方向レイノルズ数は $R_R=\dfrac{R_r}{1+R_e/R_{eL}}$ …（４）となる。

たたし、Ｑ：流量　ｈ：水深　n：動粘性係数　m：粘性係数
ｄ：管の直径　e：渦粘性係数　　r：密度
ここでＲｒとＲｅは実験値より求められる値である。
Ｒｒを横軸Ｒｅを縦軸としてグラフ（例えば図－１）から
ＲR，ＲｅLを求めたいので式（４）を変形して

$$R_e=\left(R_{eL}/R_R\right)R_r-R_{eL} \cdots（５）$$



モデル－１

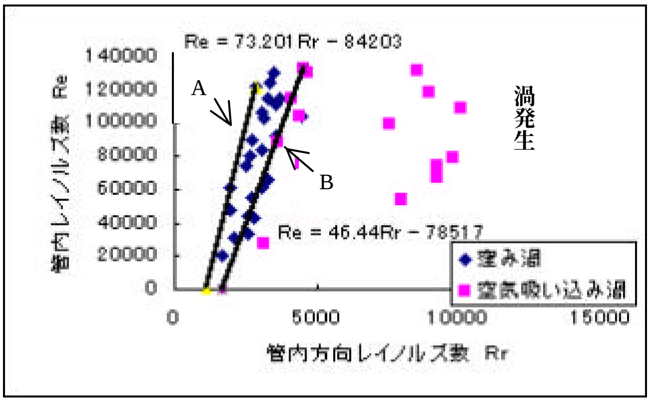
次に式（４）に半径方向レイノルズ数Ｒｒ＝$Q/2\pi h\nu$、
管内レイノルズ数Ｒｅ＝$4Q/pmd$ を代入すると

キーワード　流出渦、局所流、空気吸い込み渦
〒４００－８５１１　甲府市武田４－３－１１　山梨大学工学部土木環境工学科

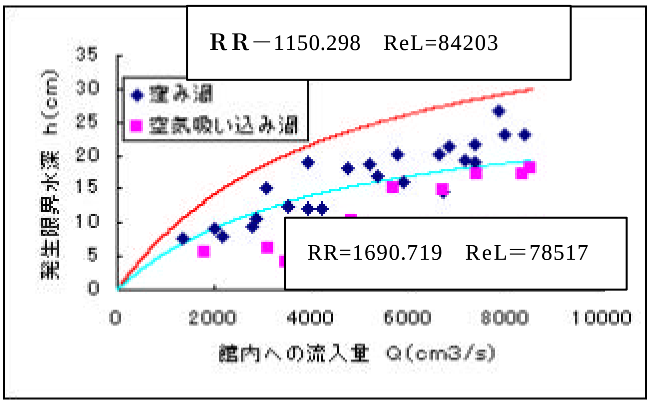
$$R_R = \frac{\dfrac{Q}{2pnh}}{1 + \dfrac{4Q}{pdnR_{eL}}}$$ となり、変形して $$Q = \frac{2pndR_{eL}R_R h}{R_{eL} - \dfrac{8R_R}{d}h}$$ …（6）

3．新しい半径方向レイノルズ数 R_R の検討

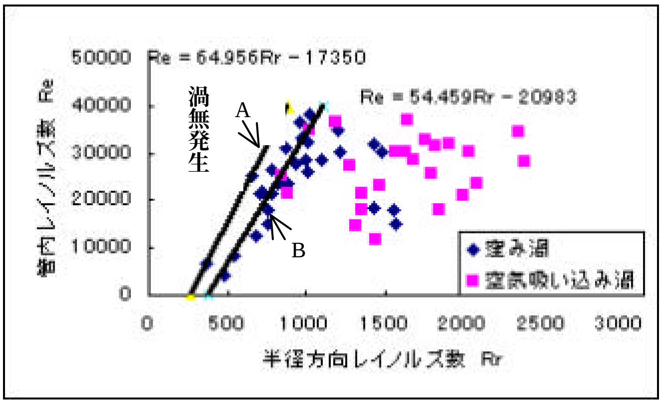
実験値より管内レイノルズ数Ｒｅと半径方向レイノルズ数Ｒｒを求め、それぞれを縦軸と横軸としてプロットすると図－1、3のようになる。渦発生領域としない領域との境界が直線Ａとなる。窪み渦、空気吸い込み渦の境界が直線Ｂになる。これらの直線は式（5）より切片がＲｅＬになり、直線の傾きがＲｅＬ/ＲＲとなるので、そこからＲＲ，ＲｅＬを求めることができる。次に縦軸を発生限界水深ｈ、横軸を管内への流入量Ｑとするグラフに実験値をプロットし、さらに式（6）を合わせて示したのが図－2、4である。



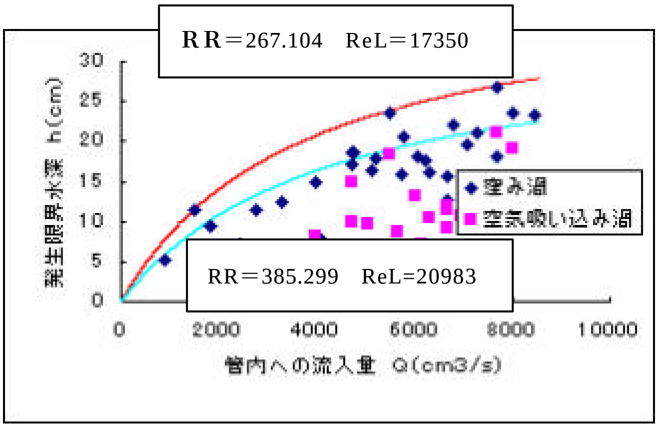
図－1　管内レイノルズ数と半径方向レイノルズ数の関係のグラフ　動粘性係数 0.0165(ｃm²/s)の場合



図－2　式（6）より求まった発生限界



図－3　管内レイノルズ数と半径方向レイノルズ数の関係のグラフ　動粘性係数 0.0566(ｃm²/s)の場合



図－4　式（6）より求まった発生限界

図－2、4より判断して、ＲＲ，ＲｅＬを決めることにより、窪み渦の発生限界の上限（それより水深が深い場合に窪み渦は発生しない）、空気吸い込み渦の発生限界の上限（それより水深が深い場合に空気吸い込み渦は発生しない）を求めることができる。液体の粘性が変わるとＲＲ，ＲｅＬの値が変わるが図－2、4同様に発生限界を定められる。

4．おわりに

本論分で窪み渦、空気吸い込み渦が発生しないようにするには、模型実験を行い多くの実験値から得られた正確な無次元数ＲＲ，ＲｅＬを用いて図－1，図－2を作成することを提案した。

【参考文献】　1）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、日本機械学会論集（B編）第 59 巻、559 号、1993 年 3 月、ｐｐ696～701　　2）荻原能男・安藤茂樹：窪み渦の発生領域に関する研究，土木学会水工学論文集　第 40 巻，1996 年2月，pp.681～686