

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 20 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560158

研究課題名（和文） 吸込水槽流れにおける相似則

研究課題名（英文） Similarity of Flow in Pump Sump

研究代表者

松井 純 (MATSUI JUN)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：40251756

研究成果の概要（和文）：

ポンプ吸込水槽の流れにおいて発生する空気吸込渦および水中渦の発生限界についての実用的な相似則を見いだすため、三種類の大きさの幾何的に相似な試験装置を用いて実験を行った。流量と水位をパラメタとして渦の発生限界を求め比較した結果、空気吸込渦については流量（あるいは平均流速とスケールによって定まるフルード数）に比例する発生限界と、水位によってほぼ一意に定まる発生限界とがあることと、速度一致に近い条件で渦発生が相似となることを明らかにした。また、水中渦についても速度一致に近い相似則が得られた。

研究成果の概要（英文）：

To study the similarity law in the flow of pump sump, especially on the critical submergence for both air entraining vortex and submerged vortex, three model pump sumps are constructed with geometrical similarity. Changing the flow rate and water height, the condition when sump vortex occurs is studied in each model. On the air entraining vortex, there are two critical lines of submergence, one is in proportional to the flow rate or velocity at bell inlet, the other is almost independent from flow rate. The former may be the effect of Froude number, but the later is not clear. On the submerged vortex, the line is not clear in the smallest model. Comparing the coefficients of above lines, the kinetic similarity is got at the same velocity condition, not Froude number similarity or Reynolds number similarity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
2012 年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：流体機械、吸込水槽、相似則

1. 研究開始当初の背景

排水機場などで使用されている吸込水槽内部の流れは、多数の渦が三次元的に干渉し合う、非定常性の強い、複雑な流れとなっている。その流れは主にフルード数に支配される波や水面変形の現象と、主にレイノルズ数に支配される境界層、渦、はく離の現象とが混在したものであり、このため模型実験における相似則は明確ではない。

たとえば模型試験方法の指針として、ターボ機械協会基準「ポンプ吸込水槽の模型試験方法 TSJ S002」が発行されているが、この基準では実機の代表長さ L_p 、流速 V_p 、模型の代表長さが L_m であるときの空気吸込渦の実験において、模型実験の流速 V_m を経験式 $V_m/V_p=(L_m/L_p)^{0.2}$ から決めるとしている。一方で米国での模型試験指針 "American National Standard for Pump Intake Design, ANSI/HI 9.8-1998" ではフルード数の一致を実験条件としており、上の式のべき乗を 0.5 と指定している。0.2 乗の式は現実に近いとされているが、理論的な裏付けがないのが現状である。

2. 研究の目的

吸込水槽内部の流れにおいて問題となる、空気吸込渦および水中渦が発生する条件の実用的な相似則を確立することを最終目的とする。

3. 研究の方法

吸込管ベル口径 300mm の実験装置 (Fig.1) を新たに作成し、流量や水位と吸込渦発生状況との関係を明らかにする。この装置は既存のベル口径 150mm の実験装置、さらに小型の実験装置と幾何的に相似に作成し、相互に比較する。水槽内に生じる波の時間変化も記録し、その影響を調べる。

一方、詳細な内部流れの情報を得るために、数値計算による解析も実施し、その結果を解析するとともに、信頼できる結果を得るための計算格子や計算条件を確認する。

4. 研究成果

吸込水槽模型試験における相似則の検討のために、吸込ベル直径 75mm の小型模型水槽 (既存のものを改造) において、流量と水位を変更して吸込渦の発生領域を明らかにした。この装置と幾何的に相似である、吸込管直径 100mm の模型水槽 (既存) での吸込渦の発生領域と比較すると、水中渦については実流速すなわち両者の速度を同じとする条



Fig.1 実験装置 (一部)

件でほぼ相似となり、空気吸込渦についても実流速に近い相似関係があることがわかった。また上流の速度分布が一様でない場合に、渦発生が影響を受けやすい流量域と受けにくい流量域があることを明らかにした。従来は吸込管の直径は 100mm 以上でないと相似則が成立しないとの報告があり、現在の模型試験はその報告に基づいて寸法の大きな模型で実施されているが、今回の結果は、より小型の模型試験が可能であることを示唆している。

吸込ベル口径 300mm の大型模型水槽を設計し、製作した。他のサイズの装置と幾何的に相似であるが、そのままでは駆動に必要な動力が建物の給電能力を上回るため、管路などを工夫した。

Fig.2 に流路上流側での流速分布 (水平方向) を示す。ほぼフラットな分布を得ており、実験装置全体を模擬した CFD による予測結果とよく一致している。

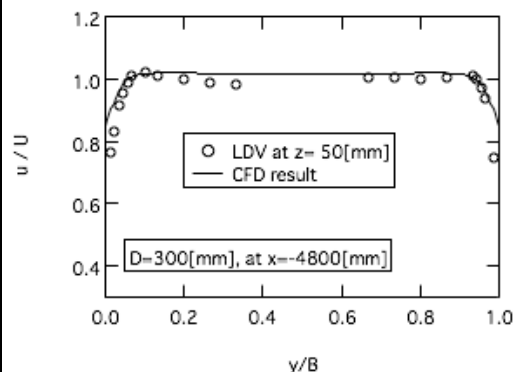


Fig. 2 流路内 $x=-4800$ [mm] における流速分布

この大型模型水槽を用いて、流量と水位をパラメータとして渦の発生範囲を計測した。(Fig. 3)

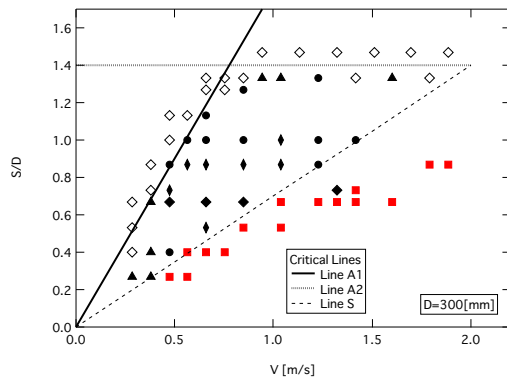


Fig. 3 大型実験装置での渦発生状況

Fig. 3 の白抜きマークの領域では空気吸込渦が発生していない。この図に見られるように、空気吸込渦の発生限界が流速によって整理できる領域（原点を通る直線で区切られる）と、水位のみで整理できる領域（縦軸 S/D 一定の直線で区切ることができる）とが存在することを明らかとした。

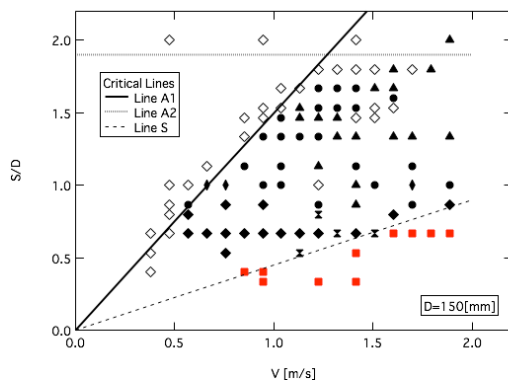


Fig. 4 中型実験装置での渦発生状況

前者についてスケールの異なる装置の間で近似係数を比較する。同様に計測した中型装置での渦発生マップを Fig. 4 に示す。発生状況は Fig. 2 と良く似ていることから、流速に依存する渦発生の限界をモデル式

$$S/D = C V$$

で表すと、大型装置では $C=1.8$ となり、中型装置では $C=1.5$ となった。この関係を相似式

$$C_L / C_M = (D_M / D_L)^n$$

に代入して n を求めると、 $n=-0.26$ となり、

フルード数が一致する場合の $n=0.5$ 、レイノルズ数が一致する場合の $n=-1$ の中間で、流速一致である $n=0$ に最も近い関係となっていることが明らかになった。

また小型水槽では $C=1.5$ となり、大型吹奏との関係は $n=-0.15$ と、これも流速一致に近い関係であることがわかった。

空気吸込渦と水中渦の両方について、流量や水位への依存は大型と中型模型では定性的には同等であるが、一部に差異が見られ、さらに考察を要する。

また、ある流量範囲では波の影響で渦が生じにくいと観察された。このため水槽内部に発生する波の状況が重要であると考え、水面の非定常な動きを定量的に把握するため波高計を準備した。波高計による波の計測とビデオ撮影を並行して実施し、さらに水面に波消しのための板を浮かべることにより波立ちが渦生成に与える効果を調べた。この効果は限定的であり、板の有無により渦発生状態が変化する流量と水位の領域は、比較的限定されている。また小型模型ではその効果が明確でないことから、波立ちにもスケールの影響があることを明らかにした。

市販 CFD コードと自作計算コードのそれぞれで口径 100mm の模型水槽の内部流れの解析を行い、実験結果と比較してある程度の一致を得たが、装置に比較して渦コア径が小さく、かつ非定常に動き回る空気吸込および水中渦を定量的に比較するためにはヘリシティ、渦度などの従来の評価法では不足であり、新しい評価手法を開発する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 1 件)

(1)

K. Kawakita and J. Matsui, "Experimental Study on the Similarity of Flow in Pump Sump Models", 26th IAHR IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems (北京、中国, 2012 年 8 月 23 日)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況（計0件）

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松井 純 (MATSUI JUN)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：40251756

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし