

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 22 日現在

機関番号：55502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450287

研究課題名(和文) 流体力学的手法による仔魚の生残率を高めるための飼育水槽内流れの制御

研究課題名(英文) The fluid mechanics control method about flow field in a rearing tank for enhance to mortality of larvae fish.

研究代表者

角田 哲也 (SUMIDA, TETSUYA)

大島商船高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：00163056

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：仔魚飼育用円形水槽内の流れを可視化実験，数値計算およびPIVによる速度測定から明らかにした。

フローパターンは一渦対系と二渦対系が存在する。二渦対系の場合，仔魚が水面と接触する頻度が少なく，浮上死数が減少するため，仔魚の生残率は向上したと考えられる。数値計算によって流れ場を定量的予測し，大渦およびコーナー渦の渦度の大きさを求めた。PIVによる速度計測では数値計算および可視化結果と良く一致する。しかし，レーザー光源の光路方向へ光源が減衰するため，誤差ベクトルが生じる。流れ場の基本情報を正確に水産分野に提供するためには測定精度を高めるための工夫が必要である。

研究成果の概要(英文)：In a circular rearing tank, the flow structure revealed from flow visualization experiment, numerical calculation, and velocity measurement using Particle Image Velocimetry(PIV). A single-pair vortex system and a two-pair vortex system were observed different aspect ratios. The vorticity of large vortex and corner vortex were estimated and compared by calculation. The stability solution was not obtained only for 10-ml per minute aeration rate. It is considered to be fact that velocity difference between the liquid phase and gas one cause to the numerical solution divergence. Even if aeration increased, it is the examination subject to modify the calculation model that the numerical solution divergence does not occur. The velocity measurement results by PIV was approximately corresponding to both numerical calculation and flow visualization result. However, it is needed to contrive that practice more precious velocity measurement present to fisher engineering.

研究分野：流体力学

キーワード：種苗生産 飼育水槽 生残率 可視化 数値計算 PIV 円形水槽 初期減耗

1. 研究開始当初の背景

乱獲，自然環境の変化および自然災害などにより日本の魚介類の漁獲量が減少している．このため，種苗生産（放流や養殖をするために魚や貝の子供をつくること）技術の高度化が必須である．種苗生産が成功する鍵は，いかに仔魚の生残率（生残個体数 / 飼育個体数）を高めるかである．近年，水産学研究者から水流が仔魚の生残率に及ぼす因子の一つであることが指摘されている⁽¹⁾ものの，流体力学を専攻する水産学研究者の絶対数が少ないため，この課題は手付かず状態である．本課題の最終目標は流体力学の技術とアイデアを水産学に導入することによって種苗生産用飼育水槽内の流れ構造を明らかにし，水産学へ基礎的知見を提供することである．

本課題の関連研究は極めて少なく，系統的な研究例として，塩谷ら⁽²⁾は飼育実験と速度計測を報告した．その主要結果は仔魚の生残率を高くする最適通気量が存在することである．

一方，Ruttanapornvareesakul ら⁽³⁾はマハタとオニオコゼを対象とした，体積一定下で水槽形状を系統的に変化した飼育実験を実施した．その結果，細長い水槽の方が，著しく生残率が高くなることを報告した（図1参照）．

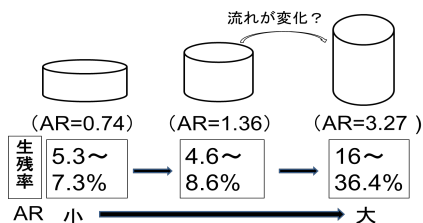


図1 Ruttanapornvareesakul らの飼育実験

(Aquaculture Research, 2007)

2. 研究の目的

本課題では，従来研究の細長い水槽で仔魚の生残率を高くする要因のうちの一つを，流体工学的な観点から考察する．また，通気量と流れ場との関係を数値計算と速度計測によって明らかにする．以上のことをふまえて，本課題では，アスペクト比 $AR (= \text{水深} H / \text{水槽半径} r_i)$ を導入する．具体的には水深を系統的に変化させることによって AR の値を変化させる．通気量 Q とアスペクト比 AR をパラメーターとして，次の3つを本課題の主たる目的とした．

(1) 流れの可視化によってフローパターンを調査する．すなわち，流れ場の定性化を図る．

(2) 塩谷らの数値計算を改良し，流れの可視化結果と照合比較することによって，計算精度を高める．

(3) 流れ場粒子画像流速測定法 (PIV) によって速度分布測定を実施する．すなわち，流れ場の定量化を図る．

(4) 前述 (1) - (3) の結果と従来研究の結果を照合することによって，仔魚の生残率を高める基礎的知見を水産学へ提供する．

3. 研究の方法

(1) 可視化実験

図2の実験装置で流れの可視化を実施した．実験条件は通気量 $Q = 10, 25, 50$ mL/min，アスペクト比 $AR = 0.5, 1.0, 2.0$ である．可視化は懸濁法を採用し，シーディング粒子には平均直径 $40 \mu\text{m}$ のアルミ粉を利用した．なお，通気量はマスフローメーターで厳密に制御した．

(2) 数値計算

図2の底面中央に設置しているエアストーンと同径の通気孔を仮想し，そこから通気量を水中に放出させる．水槽中心

付近の流れ場を実際の流れ場と同様の気液二相流として取り扱い、かつ境界条件をできる限り実際の流れ場に沿う（水表面ではno-slipなど）ように改良した数値計算を実施する。さらに、計算機の演算速度、容量の性能を考え、本数値計算では先行研究のShiotaniらの解析よりも格子数を著しく増加させた。なお、本課題では気液二相流の数値計算モデルとして一圧力モデルを採用した。

(3) PIVによる速度分布測定

PIVシステムは可視化レーザー光源、カメラ、トレーサー、PIV解析ソフトおよびホストPCで構成される。今回使用した可視化レーザー光源は出力が400mW（日本レーザー製、DPGL-400mW）、解析ソフトはDitect製のFlownizer2DおよびカメラにDitect製のHAS-L1、トレーサーは比重が1.01、平均粒径が10ミクロンの球形ガラス粒子（Glass Hollow Spheres 110P8）を採用した。

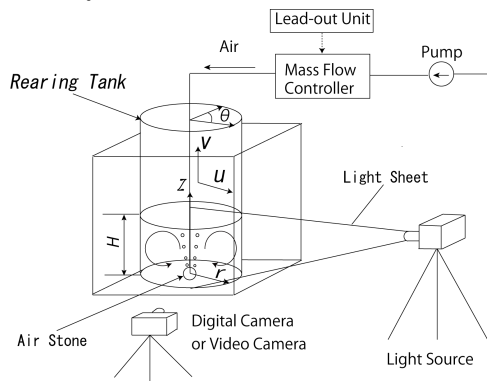


図2. 実験装置の概略と座標系

4. 研究成果

(1) 流れの可視化

図3~5にアスペクト比AR=0.5, 1.0および2.0の可視化写真を示す。図よりAR=1.0から2.0へ移行する際に大渦の個数が変化することがわかる。以上のように、ARの増加によってフローパターンが

劇的に変化することがわかった。一方、通気量は $Q=10\sim 100\text{mL}/\text{min}$ の範囲では、フローパターンに影響を及ぼさなかった。

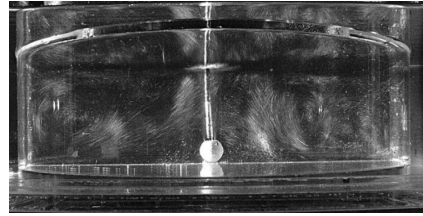


図3 AR=0.5の可視化写真



図4 AR=1.0の可視化写真

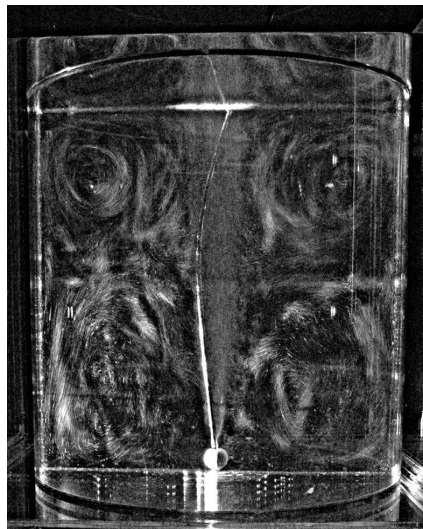
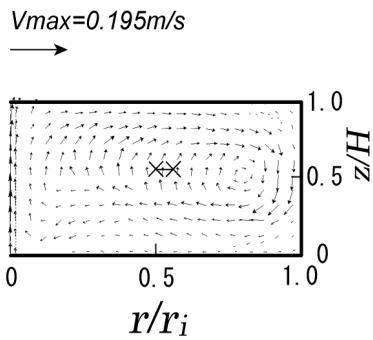


図5 AR=2.0の可視化写真

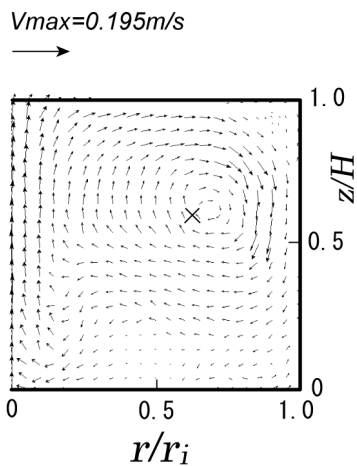
(2) 数値計算

図6(a)~(c)にAR=0.5, 1.0および2.0における速度ベクトル図を示す。図中の□は可視化写真から得られた渦中心位置を示す。なお、ここでの渦中心と

はよどみ点と定義する．AR = 0.5 のみ大渦の循環速度が小さく，渦中心位置を確定できなかった．このため，渦中心位置と思われる範囲を2つの□を実線で結んだ．この場合，可視化結果と計算結果の渦中心位置に隔差が生じた．図6 (b)，(c)では可視化と数値計算から得られた渦中心位置がほぼ対応している．図6から水槽中心線付近と大渦中周辺で速度が大きいことが明らかになった．



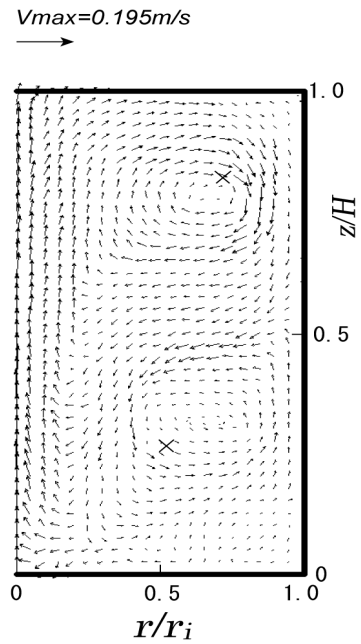
(a) AR=0.5 の速度ベクトル図



(b) AR=1.0 の速度ベクトル図

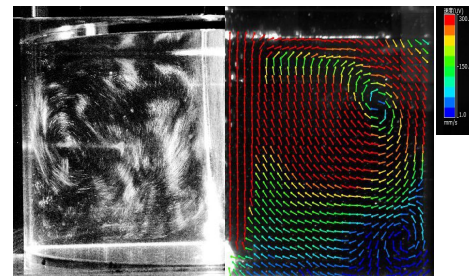
(3) PIVによる速度分布測定

図7は右反面に速度計測結果を，左反面に可視化結果を示す．AR=0.5 と 1.0 のフローパターンは同じなので，ここでは $Q=10\text{mL}/\text{min}$ における AR=1.0 と 2.0 のみの結果を示す．AR=1.0 と 2.0 では可視化結果と定性的に対応する．また，速度の大きさは水槽中央付近と大渦周辺で数値計算結果と同様の傾向を示す．

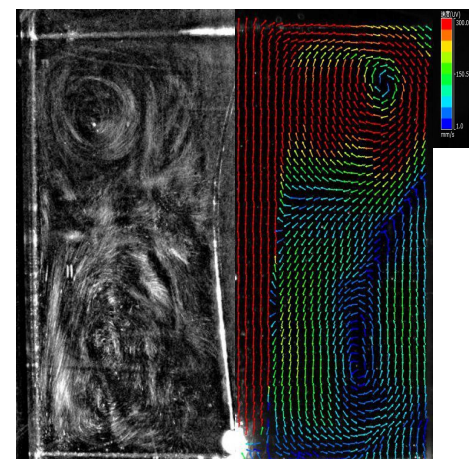


(c) AR=2.0 の速度ベクトル図

図6 速度ベクトル図



(a) AR=1.0 の可視化と速度ベクトル



(b) AR=2.0 の可視化と速度ベクトル

図7 可視化写真と速度ベクトル図

(4) 水産学への基礎的知見

流れの可視化，数値計算および速度計測から，以下の点を水産学へ基礎的知見を提供する．

1) Ruttanapornvareesakul らの飼育実験の細長い水槽において仔魚の生残率が高くなったのはフローパターンの変化と関連する．AR = 1 未満の水槽では仔魚が自由表面と接触する頻度が高く，自由表面で仔魚が表面張力で補足され死ぬ，いわゆる“浮上死”の影響が大きいと思われる．一方，AR=2.0 の水槽では大渦が二渦対系で下方の大渦で滞留する仔魚が存在し，自由表面と接触する頻度が少なくなり，ひいては仔魚の生残率が高くなったと思われる．

2) 仔魚の生残率の一因に水流が示唆されている．仔魚に作用するせん断応力の大きさは仔魚表面上の速度勾配に比例する．このため，水槽内の速度分布の数値予測と速度分布測定は仔魚に作用するせん断応力を予測する上で意義がある．数値計算および速度測定から中心線付近および大渦周辺では仔魚に作用する応力が大きいことが予測できる．

【今後の課題と展開】

1. 新たな設備を付加しなくても水深変化のみで仔魚の生残率を高める可能性を見出したが，その検証には水産学研究者による飼育実験の蓄積が必要である．このため，水産学研究者との連携が重要である．

2. 装置の大型化を視野に入れると，水槽掃除の際，作業員の転落事故が懸念される．そのため，AR<1.0 の水槽でも二渦対系の流れを生じさせる水槽開発が必要になる．

3. プログラム作成による数値計算については通気量が大きい $Q=25$,

50mL/min の場合には気相と液相の速度差(すべり)が生じ，解が発散した．すべりが生じる通気量の場合でも解が発散しない計算モデルの構築が必要である．

【参考文献】

(1) 魚類と行動研究と水産資源管理，日本水産学会監修，恒星社厚生閣，P106-110

(2) 塩谷茂明，赤澤敦司，阪倉良孝，中田久，荒川敏久，萩原篤志: 仔魚飼育水槽内の流場の計測: マハタ飼育水槽の検討例．水産工学，39: 205-212, 2003.

(3) Y.Ruttanapornvareesakul, Y.Sakakura, and A.Hagiwara : Effect of tank proportions on survival of seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus* (Thunberg) and devil stinger *Inimicus japonicus* (Cuvier) larvae. *Aquaculture Res*, 38: 193-200, 2007.

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 3 件)

【1】Tetsuya Sumida, Shigeaki Shiotani, and Wataru Yamazaki, Relationship between Aspect Ratio and Flow Fields in a Rearing Tank, *Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms* 4(1) 2-7, 2015 年 6 月.

【2】Tetsuya Sumida, Hideo KAWAHARA, Shigeaki SHIOTANI, Yoshitaka SAKAKURA, and Atsushi HAGIWARA, Observations of Flow Patterns in a Model of a Marine Fish Larvae Rearing Tank, 57 24-31 2013 年 11 月.

【3】Tetsuya Sumida, Hideo KAWAHARA, Shigeaki SHIOTANI, Yoshitaka SAKAKURA, and Atsushi HAGIWARA, Estimation of Flow Fields in a Model of Rearing Tank for Marine Fish Larvae by Numerical Calculation, *International Ocean and Polar Engineering Conference* 978-1-880653-99-9 495-500 2013 年 7 月.

〔学会発表〕(計 8 件)

【1】角田哲也，坪郷浩一，山崎涉，北村祐一，仔魚飼育水槽内流れの解明，平成 28 年度 日本水産学会秋季大会 講演要旨 P156 2016 年 3 月.

【2】Yuta Takakuwa, Wataru Yamazaki, Tetsuya Sumida, Two Phase Bubbly Flow Simulations in Rectangular Tanks ,Twelfth International Conference on Flow Dynamics 2015年10月.

【3】坪郷浩一, 角田哲也, 気泡上昇を伴う流れ解析, 第21回日本高専学会 2015年8月.

【4】角田哲也, 北村祐一, 塩谷茂明, 山崎涉, 円形飼育水槽内流れの速度計測, 平成27年度 日本水産学会春季大会 2015年3月.

【5】Tetsuya Sumida, and Shigeaki Shiotani, Experimental study of flow field in a larvae rearing tank for marine fish, Proceedings of the Sixth International Symposium on Aero Aqua Bio-mechanisms, 2014, 227-231, 2014年11月.

【6】角田哲也 他2名, 仔魚飼育水槽内の速度計測の試み, 平成26年度日本水産学会秋季大会 2014年9月.

【7】角田哲也, 山本健也, 北村祐一, 異分野融合研究を題材とした卒業研究実践例-第1報 可視化と飼育実験-, 平成26年度工学教育研究講演会 2014年8月.

【8】角田哲也, 塩谷茂明, 阪倉良孝, 萩原篤志, 北村祐一, 機械工学からアプローチした仔魚飼育水槽内流れに関する研究, 平成26年度日本水産工学会学術講演会講演論文集 2014年6月.

〔図書〕(計 7件)

【1】商船高専海技試験問題研究会編, 海技士3E 解説でわかる問題集(担当:共著, 範囲:P1-31), 海文堂 2015年11月, ISBN:ISBN978-4-303-45080-9.

【2】福島千晴・亀田孝嗣・上代良文・宇都宮浩司・角田哲也・大坂英雄, 流体力学の基礎と流体機械, 共立出版 2015年10月, ISBN:978-4-320-08212-0C3053.

【3】商船高専海技試験問題研究会(担当:共著, 範囲 P1-35), 海技士2E 解説でわかる問題集, 海文堂出版 2015年3月, ISBN:978-4-303-45070-0.

【4】角田哲也, 蒸気タービン要論(三訂版), 成山堂, 2013年8月, ISBN:978-4-425-69061-9C3056.

【5】角田哲也, エンジニアのための熱力学(三訂版), 成山堂 2013年6月, ISBN978-4-425-69061-9C3056.

【6】西野薫 角田哲也, 船用ボイラの基礎(六訂版), 成山堂, 2013年4月, ISBN:978-4-425-63004-2C3052.

【7】角田哲也 ほか(担当:共著), 機関学概論(改訂版) 成山堂 2014年4月 ISBN:978-4-425-61372-4.

出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

【1】角田哲也, 種苗生産用水槽の開発-水槽流れと仔魚生残率係との関係-, 農林水産技術会議 アグリビジネス創出フェア(講演), 2015年11月.

【2】角田哲也, 仔魚飼育水槽内流れの制御, 農林水産技術会議, アグリビジネス創出フェア(ポスター), 2015年11月.

ホームページ等

<http://researchmap.jp/read0178535>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角田 哲也 (SUMIDA TETSUYA)

大島商船高等専門学校・その他部局等・教授
研究者番号: 00163056

(2) 研究分担者

塩谷 茂明 (SHIOTANI SHIGEAKI)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・教授
研究者番号: 00105363