

## クロマグロ養殖生簀の設計最適化に関する研究

著者	董 書闖
学位名	博士(海洋科学)
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2018
学位授与番号	12614博甲第497号
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00001597/">http://id.nii.ac.jp/1342/00001597/</a>

博士学位論文内容要旨  
Abstract

専攻 Major	応用生命科学	氏名 Name	董書闖
論文題目 Title	クロマグロ養殖生簀の設計最適化に関する研究		

近年クロマグロの養殖場が増加している中で、海況が静穏な沿岸域湾内に生簀を設置する場所が飽和状態になりつつある。一方、高い遊泳能力をもつマグロの養殖には網への接触や衝突による斃死を減らすために、広い遊泳空間と清澄な養成環境が必要となる。マグロ養殖生簀はポリエチレンなどの化繊網地で構成されるものが殆どで、内湾域においても流れや波を受けて生簀が変形し内部容積が大きく減少することが指摘されており、今後水質がクリアで生物付着も軽減できる外洋域へマグロの養殖を拡大していくためには、強い流れと波に対応できる生簀の設計開発を行わなければならない。

本研究では、こうしたクロマグロ養殖生簀の設計最適化を目的として、生簀用網地の流体力特性を調べるとともに、一連の模型と実物試験を実施し、得られた結果に基づいて数値シミュレーションモデルを構築し、マグロ養殖生簀の物理的特性を明らかにした。さらに、ニューラルネットワーク応答曲面法と遺伝的アルゴリズムによるマグロ養殖生簀の設計パラメータの最適化手法を提案した。

### 1. 養殖生簀用網地の流体力特性

養殖生簀用ポリエチレン(PE)製無結節網地と金網を用いて、一様流における実験では、網地が流れに平行と直角な場合の抗力および流れに傾けたときの抗力と揚力を計測し、規則波における実験では網地に働く波力を計測した。一様流の実験により、流れに平行な場合の網地の抗力係数は PE 菱目、角目網地と金網の順に大きくなることと、流れに直角な場合の抗力係数は PE 網地に比べて金網が 0.8 倍程度となることが確かめられた。さらに、PE 網地および金網の抗力係数と揚力係数がレイノルズ数、網目係数と迎角の関数で表せることを明らかにした上で、それらを求める実験式を提案した。続いて、規則波中に置かれた PE 網地と金網の抗力係数は同一レイノルズ数において、一様流の実験で得た値とほぼ一致することが確認され、波の進行方向と直角な PE 網地の付加質量係数は KC 数が 40 以上で 4.0 程度の値を得た。さらに、PIV(粒子画像流速計測法)手法により網地周りの流れを定量的に評価し、網地を通過した後の後流域流速を検討した。

### 2. 一様流における養殖生簀の静的特性

宇和島市嘉島近海の養殖場に使用されている円形枠式クロマグロ養殖生簀をモデルとして約 1/30 の模型生簀を製作し、大型回流水槽実験において模型生簀の抵抗と容積を計測し、生簀内外の流速分布を調べた。得られた結果をもとに最小ポテンシャル原理に基づいた生簀の静的数値シミュレーションモデルを構築した。模型実験より、流速が 20cm/s より小さい場合には生簀に働く抗力が流速の概ね自乗に比例するが、流速が速くなると、生簀の変形によって抗力が流速に対して直線的に増加することが認められた。画像解析により求めた模型生簀の内部容積は流速の増加とともに減少し、50cm/s の流速では生簀の容積がほぼ半減することも確認された。これらの現象は数値シミュレーションでも確かめられ、設定条件範囲内において、数値解析結果の実験値に対する平均相対誤差は、抗力と容積の

両方とも 9.0%以内であった。

### 3. 規則波における養殖生簀の動的特性

模型生簀を用いて、水産教育研究機構水産工学研究所の造波水槽において異なる波浪条件と係留方法で生簀の係留索にかかる張力を計測し、生簀の動揺特性を調べるとともに、波浪応答シミュレーションモデルを導いた。数値解析と模型実験の両面から生簀の波浪応答特性を明らかにした。実験結果より、生簀が弛緩係留された場合では、水平と鉛直方向に入射波高に比べて大きな動揺量が確認されたが、緊張係留された場合では、係留索張力が弛緩係留に比べてかなり大きいものの、生簀の運動は係留索に拘束され、最大水平変位と最大鉛直変位の両方とも入射波高の 33%程度であった。緊張係留または弛緩係留の何れにおいて、生簀沖合側の係留索にかかる最大張力は陸側に比べて 2.5 倍以上大きいことも確認された。一方、数値シミュレーションモデルによる生簀枠の動揺量、係留索張力の最大値と位相は、弛緩係留において実験値とよく一致する結果を得た。

### 4. 実物試験による生簀の抵抗と内部容積の推定

直径 34m で深さ 12m の高密度ポリエチレンパイプ枠式マグロ養殖生簀を対象とした現場計測試験を行った。生簀の側網と底網中央に取り付けた 17 本のメモリー式小型水深計で得られた水深データにより、生簀の水中形状を表す水深計取り付け位置の三次元座標を求めて、実物生簀の内部容積と抗力を推定した。また生簀近傍で水深 5m と 10m の流向流速も 2 本の電磁流向流速計により計測した。その結果、連続した 45 時間の計測期間において、生簀付近の流速は殆ど 5~20cm/s の範囲にあった。最大流速は 40cm/s であり、そのときの内部容積は 8185m<sup>3</sup> で流速 5cm/s のときの容積に比べて 37%減少した。最大流速を受けたときの生簀に働く抗力は 2950kgf に推定された。また、現場試験の実測値は、模型試験で得られた結果と概ね一致した。

### 5. 生簀の構造設計の最適化

マグロ養殖生簀の設計最適化を図るために、生簀を構成する網地の網目係数、網丈/生簀の直径、底網の錘重量/パイプ枠の浮力を設計パラメータとして、数値シミュレーションを基としたニューラルネットワーク応答曲面法および多目的遺伝的アルゴリズムによって生簀の抗力係数を最小化、内部容積保持率を最大化する最適化手法を提案した。実験計画法により選定した生簀モデルの解析値を教師データとして、ニューラルネットワークによる機械学習で得られた最適化モデルの何れも実験に用いた現用生簀に比べて、内部容積保持率が大きく抗力係数がかなり小さいことから、本研究で提案した設計パラメータの最適化手法の有効性が示唆された。

以上のように、本研究ではマグロ養殖生簀の構成部材である網地の流体力特性を調べるとともに、一様流における生簀の容積と抗力、波浪場における生簀の動揺特性を一連の模型と実物試験および数値シミュレーションにより明らかにした。さらに、ニューラルネットワークモデルと多目的遺伝的アルゴリズムによる生簀の設計パラメータの最適化手法を提案した。これらの成果は、今後現用生簀の改良および新たな生簀の設計開発に役立つことが期待される。