

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	http://id.nii.ac.jp/1342/00001597/

博士学位論文要約
Summary

専攻 Major	応用生命科学	氏名 Name	董書闡
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		

日本の漁業生産量が年々減少している中で、まぐろ類消費量が依然高い水準を維持しており、2016年のまぐろ類供給量が39.0万トンで、そのうちの5割超(21.0万トン)が輸入されたものである。クロマグロについても、2016年の供給量が4.6万トンで、その半分が輸入されたものである(水産庁ホームページ、「かつお・まぐろ類に関する国際情勢について」、平成30年2月)。そのため、クロマグロの養殖が年々重要視され、種苗の育成、飼料や病気などの研究が進んでいる。しかし、養殖施設である生簀の設計に関する研究が少なく、生簀の構造、大きさや網地材料の選択および係留方法などの多くは経験的に基づくところが多い。一方、マグロの養殖が増えるにつれ、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り、広い遊泳空間と清澄な養成環境が確保できる外洋域への拡大が期待されている。

本研究では、こうした波浪や潮流等の厳しい外洋域に適応でき、かつ設置可能な大型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と多目的遺伝的アルゴリズムによって、生簀の設計パラメータの最適化を試みた。具体的には以下に示す研究を行った。

【養殖生簀用網地の流体力特性】

生簀養殖現場に使用されている2撚り糸のポリエチレン(PE)製無結節網地と亜鉛メッキ金網網地について、一様流および規則波におけるこれらの平面網地の流体力を調べて、流れ場における生簀用網地の抵抗係数、付加質量係数を明らかにした。一様流の実験により、流れに平行な場合の生簀用平面網地の抗力係数はPE菱目網地、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金網の抗力係数はPE網地の0.8倍程度であ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は以下に示すレイノルズ数、網目係数と迎角の関数で表せる実験式を得ることができた。

$$\text{PE網地: } C_{D\theta} = C_{D90} \sin\theta + (C_{D0} - 4.5\alpha \sin\theta) \cos^2\theta ; \quad C_{L\theta} = 0.3\alpha^{-0.3} C_{D90} \sin^{0.7}\theta \cos^{0.8}\theta$$

$$\text{金網: } C_{D\theta} = C_{D90} \sin\theta + 12.5\alpha(C_{D0} - 0.3\sin\theta) \cos^2\theta ; \quad C_{L\theta} = 25\alpha^2 C_{D90} \sin^{0.7}\theta \cos^{0.8}\theta$$

規則波中で波の進行方向と直角なPE網地と金網網地の抗力係数も一様流中と

同様にレイノルズ数の増加とともに減少することが認められ、抗力係数の値は一様流の実験で得た値とほぼ一致した。波の進行方向と直角な PE 網地の付加質量係数は、KC 数(Keulegan Carpenter Number)の増加とともに大きくなり、KC 数が 40 を超えるとその値が 4.0 程度となった。

また、PIV(粒子画像流速計測法)手法により、平面網地周りの流れを定量的調べて、エネルギー保存則と質量保存則による網地の誘導流速と後流流速の推定式を提案し、検討した。

【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、大型回流水槽において小型水中張力計を用いて模型生簀の抵抗を計測した後に、小型ミライトを利用して流水中の形状を計測し、内部容積を推定した。さらに、生簀内外の流速分布も詳細に調べた。模型実験より、流速が 20cm/s より小さい場合で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。また、生簀の内部流速は主流流速より 9%-11%ほど減少することが確かめられ、生簀の後方には生簀直径のほぼ 1.5 倍の長さまで後流域が形成されることも確認された。

設定流速条件の範囲内において、生簀内部流速の減少を考慮して構築した数値シミュレーションモデルにより求められた生簀の抗力と内部容積は模型実験で得られた値とよく一致する結果が得られ、生簀の設計パラメータである網地の網目係数、錘重量および網丈等が生簀の抗力と容積に与える影響を数値シミュレーションにより調べて、考察した。

【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、小型水中張力計を用いて、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、生簀枠に取り付けた小型ミライトの動画より生簀の動揺特性を調べた。実験結果より、生簀が緊張係留された場合では、弛緩係留に比べて係留索張力が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。弛緩係留方式の場合では、緊張係留方式に比べて相対的に大きな変位が生じており、変位振幅はほぼ入射波の振幅と同じ程度となっている。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。容量式波高計で計測された生簀内外の波高は波浪の進行方向に沿って、全体的に減少した。同じ入射波に対して、各計測点の波高伝達係数は入射波高の増加に従って、小さくなる傾向があった。

一方、ランプドマスモデルを用いた波浪応答数値シミュレーションモデルを導き、解析で求められた生簀枠の動揺量、係留索張力の最大値は、実験値とよく一致する結果を得た。

【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、水深差法で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8185m³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、実物生簀の容積と抗力の推定精度を評価するために、同じく水深差法を用いて模型生簀の容積と抗力を推定し、計測値と比較した。生簀の抗力については、低流速の場合で計測値と推定値がよく一致したことに對して、流速の増加に伴い、両方の差が大きくなり、全体の平均相対誤差は33.2%であった。一方、生簀容積の比較結果では、流速の増加に伴い、推定値と計測値の差も大きくなるが、全体の平均相対誤差は14.5%程度であった。高速になるほど推定誤差が大きくなる原因は、推定に必要な既知座標数が少ないことと、流水中において生簀の網地が流れの進行方向に沿って一様に変形しないことによるものと考えられる。

【生簀の構造設計の最適化】

最適な生簀の設計パラメータの組み合わせを求めるために、生簀を構成する網地の網目係数、網丈/生簀の直径、底網の垂重量/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は、実験に用いた現用生簀に比べて、同じ流れ環境において、抵抗を小さく抑えることができ、内部容積も大きくなることが確認できたことから、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。

以上のことから、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。