

学 位 論 文 題 名

# ホタテガイ垂下養殖施設用空気式浮沈装置に関する研究

## 学位論文内容の要旨

1965年に殻長3cm以上の種苗が生産できる採苗技術が開発され、1968年頃からホタテガイ(*Patinopecten yessoensis*, JAY)の垂下養殖が始まった。集約的な海面養殖の一つとして1970年代から東北と北海道を中心に発展した。

この養殖のホタテガイの成育に影響を与える大きな要因は、水温や飼料生物等を考慮したホタテガイを養成する水深である。この水深は垂下養殖施設(以下、施設)に取り付けられた浮子で保持されている。しかし、施設はホタテガイの成長や付着物の増加により沈降するため、養殖期間中の養成水深を維持するには、ホタテガイを垂下している海中の幹綱に、重量増加に見合った浮子を付加する水深調節作業を頻繁に行う必要がある。この作業は幹綱を引き上げ作業船の舷側に固定し、船縁から身を乗り出して中腰の姿勢で幹綱に浮子の取り付けを行う重労働である。特に、荒天時に作業船が揺れると作業者の海中転落等の危険を伴う。さらに、作業過程でホタテガイを海面付近に引き上げるため、夏場にはホタテガイの成長が阻害される23℃以上まで表層水温が上昇すると、長期間管理作業ができない場合がある。

一方、施設は各漁場の生産条件に合わせて種々の様式が実用化され、施設の構造や係留特性等に関する研究も行われている。しかし、ホタテガイを最適な養成水深に保持し、上述の問題を解決することを目的とした研究は現在のところ見受けられない。

本研究は、従来行われていた浮子を追加することによる水深調節方式に替えて、幹綱を舷側まで引き上げる必要の無い水深調節装置を開発し、当該作業の省力化と安全性の向上を実現しようとするものである。

### 【従来の水深管理方式の調査と新方式の提案】

施設の構造や水深管理作業の内容について、北海道噴火湾森町で調査を行った。調査結果は施設を5基所有する平均的漁家で示す。1基当たりの垂下重量は、初期約

23,520Nが11ヶ月後の収穫期には約94,160Nになる。この間垂下重量の増加に伴い、適宜約260個の浮子(外径390mm)を順次追加取り付けし、施設の水深を一定に維持をしている。漁港から施設の往復時間を除く、浮子1個を取り付けに要する作業時間は約8分である。そのうち幹綱を舷側に固定するのに約6分、浮子の固定に約1分、舷側から幹綱を解放するのに約1分である。このことから、水深管理に要する年間作業時間は延べ約170時間であることが判った。浮子の個数に比較し作業時間が長い理由は、作業ごとに幹綱を舷側に固定すること、浮力調整箇所が施設内に散在すること等による。以上の調査結果に基づき、浮力を遠隔操作することで幹綱の引き上げを省き、舷側から身を乗り出さない作業方法を考案した。この作業には浮子に変わる水深調節装置が必要となった。

海中懸架物に浮体を取り付け、その浮力を制御するには、硬式浮体の例として鋼鉄製の箱や筒を浮体とし浮体内の圧気量を変える方法、軟式浮体の例としてホースを沿わせて中の圧気量を変える方法等がある。前者は重量や可搬性の取り扱いに問題があり、後者は幹綱が海象条件によって高低差ができると、気体の性質上、端部まで圧気を注入したときに行き渡らない等の問題がある。これまでの知見から新方式の作業に適した水深調節装置は見あたらなかった。そこで、新たに装置を開発することにした。

開発する装置の構成を浮体部とその浮体の浮力制御部に分け検討した。その結果、幹綱に取り付ける浮体部は、浮力を換えられる可搬性と収納性を考慮した浮体とした。また、浮力制御部は空気供給機を船上に設置し、浮体内の圧気を「増加、保持、減少」する機能を、流水抵抗を考慮し1本のゴムホースで実現するため、浮体内に圧力作動型弁である水深調整弁を取り付けることにした。

### 【浮力制御部】

浮力制御部は、船上の空気供給機と浮体内に取り付け遠隔制御される水深調整弁、両者を連結する一本のゴムホースで構成されている。

空気供給機は船上に設置して、低圧または高圧の空気を供給することによって、水深調整弁を遠隔制御する機能を持つ。水深調整弁は内部にプランジャとスプールの2つの弁を持つ。プランジャは低圧空気が供給されると作動し、浮体内の圧気量を増加させ、スプールは高圧空気が供給されると作動し、浮体内の圧気量を減少させ、空気供給がないときは浮体空気量を保持する機能を持っている。ゴムホースは制御媒体である圧縮空気を伝える機能を持つ。

浮力制御部の動作確認は、水深相当の外力を水深調整弁に与えながら空気を供給した。設計範囲である水深0～30mで水深調整弁が所定動作することを確認した。

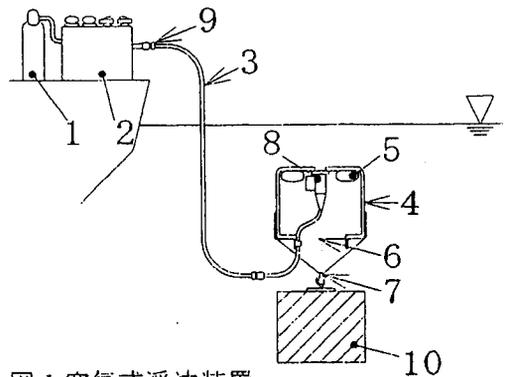
### 【浮体部】

浮体部は可搬性と収納性を考慮し、軟式材料で底部が解放されている開放型軟式浮体(以下、エアバッグ)を用いることにした。しかし、エアバッグは水圧で内部空気圧が変化すると同時に空気体積が増減し、浮力が変わる水深依存性を併せ持っている。このため、従来から用いている浮子とは全く異なる浮力特性を示す。海域や懸架物等の特性に合わせた制御や設計のために、特に鉛直方向に運動するエアバッグの浮力特性と、運動抵抗に関わる浮体形状の関係について、相似模型を用いた水槽実験から明らかにし、その係留特性について解析をした。

**浮力特性と水中形状** エアバッグの浮力、形状等の特性について相似模型を用いた実験と解析から求めた。その結果、水深に依らずエアバッグ形状は内部空気量によって一意に決定でき、任意水深における浮力と形状は、ある時刻のエアバッグ内の空気量によって推定可能なことが判った。また、浮力を可変できる硬式浮体は形状が不変であるため、空気量の増減に従い浮体内の水量も増減し、無浮力状態での浮体内の水量は容積比で100%、最大浮力状態で0%となる。それに対し、エアバッグは形状および浮体内の水量は空気容積が最大浮力状態容積の45%近傍を境として変化する特性を示した。

**運動特性と係留特性** 縦型の大型水槽内でエアバッグの相似模型を鉛直方向に正弦加振し、このときの浮力と内水面の変化から、各流体力係数の算出を試みた。この結果、全模型において応答周期は加振周期より1/4波長分の位相範囲内で変動したが、基本周期に変化は見られず、浮体が満気状態になるにつれて各種流体力係数は球形浮体の値に近付いた。しかし、抵抗係数は全模型にわたって大きなばらつきを示した。

係留状態に大きな影響を与える幹綱端点まわりの力学的平衡について、等価的球形浮子と比較しながら、鉛直方向に運動するエアバッグの相平面解析を行った。その結果、垂下物重量の増加に伴ってエアバッグの水深が深くなると、浮力的水深依存性が強く現れ、等価浮子と比較し平衡水深が深くなることを示した。



## 【浮沈装置の開発結果と実海域試験】

**空気式浮沈装置** 開発した空気式浮沈装置を図1に示す。水槽内にエアバッグがほぼ水深 1.5m を保つように設置し、空気供給機でエアバッグの浮力の増減と保持の実験を行った結果、浮力の増加は約 8N/sec、浮力の減少は約 5N/sec で、各機器の動作を確認できた。

図 1. 空気式浮沈装置

1. ボンベ, 2. 空気供給機, 3. ゴムホース,
4. エアバック, 5. 補助浮体, 6. 開放部,
7. 三角環, 8. 水深調整弁, 9. カプラ,
10. 水深調節対称物

**耐久性と機能の試験** 北海道噴火湾と青森県陸奥湾で 4 個のエアバッグを施設の一部に設置し、8ヶ月間の耐久性と機能の試験を行った。作業者には浮力調整の度に動作確認をし、作業日報に作業時間等に関するデータを記帳するよう依頼した。

この結果、期間中の記録から浮沈装置を用いると 1 箇所当たりの水深調節時間は約 3 分となり、作業時間の短縮は 60% 程度であった。作業状態は、立ったままの姿勢で片手で浮沈装置を操作していた。垂下物の重量変化に対する十分な水深調節機能を具備することと、長期間にわたる使用上の耐久性の確認もできた。

**実用規模の試験** 青森県陸奥湾で同規模施設を 2 系統準備し、1 基は水深調節を 20 個のエアバッグを設置し(新方式)、他の 1 基は従来方式で行う試験を 5ヶ月間実施した。それぞれの作業内容を作業者に日報に記載してもらい、両者間での作業と、ホタテガイの成育効果の違いについて検討した。

新方式では浮沈装置を操作した延べ回数は 32 回で、作業時間は延べ 160 分であった。一方、従来方式の施設では追加浮子総数は 40 個で、作業時間は延べ 250 分であった。この結果、作業時間の短縮は 34% 程度であることが判った。記録から浮沈装置の操作に手間取ったときの作業を除き作業時間を比較すると、作業時間の短縮は約 52% であることが判明した。ホタテガイ成育調査結果から、従来方式と新方式との有意な差は認められず、エアバッグによる垂下は従来方式に比して問題はなかった。

## 【実用性と応用展開】

浮沈装置は幹綱を引き上げずに、施設の垂下物の重量変化に対し十分な浮力を維持

することができ、作業時間が大幅に短縮でき省力化効果も認められた。ホタテガイの垂下式養殖の浮力調節装置として十分実用性があるものと考えられる。また、船体に係留力が作用しないので小型の作業船でも十分利用可能であると判断された。

浮沈装置はホタテガイの垂下養殖の他に、コンブの垂下式養殖や深度の大きい養殖生け簀の水深保持と浮沈にも応用可能である。また、浮上沈降機能を利用すれば、底建定置網の網起こしや海洋構造物の移動・設置への応用が考えられる。

簡単に浮力調節ができる浮沈装置ではあるが、今後様々な使用条件で広範囲に利用されるには、浮体部の波に対する応答特性と設計変数の感度解析を行い、係留安定領域とその条件を明かにする必要がある。また、浮力制御部に関しても圧縮空気の管路流れを中心とした応答解析が課題である。

## 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 橋 本 忍  
副 査 教 授 梨 本 勝 昭  
副 査 助 教 授 見 上 隆 克  
副 査 助 教 授 山 下 成 治

### 学 位 論 文 題 名

## ホタテガイ垂下養殖施設用空気式浮沈装置に関する研究

1965年に殻長3cm以上の種苗が生産できる採苗技術が開発され、1968年頃からホタテガイ (*Patinopecten yensis*, JaY) の垂下養殖が始まった。集約的な海面養殖の一つとして1970年代から東北と北海道を中心に発展した。この養殖のホタテガイの成育に影響を与える大きな要因は、水温や、飼料生物等を考慮したホタテガイを養成する水深である。この水深は、垂下養殖施設（以下、施設）に取り付けられた浮子で保持されている。しかし、施設は、ホタテガイの成長や、付着物の増加により沈降するため、養殖期間中の養成水深を維持するには、ホタテガイを垂下している海中の幹綱に、重量増加に見合った浮子を付加する水深調節作業を頻繁に行う必要がある。この作業は幹綱を引き上げ作業船の舷側に固定し、船縁から身を乗り出して中腰の姿勢で幹綱に浮子の取り付けを行う重労働である。特に、荒天時に作業船が揺れると作業者の海中転落等の危険を伴う。さらに、作業過程でホタテガイを海面付近に引き上げるため、夏場にはホタテガイの成長が阻害される23°C以上にまで表層水温が上昇すると、長時間管理作業ができない場合がある。一方、施設は各漁場の生産条件に合わせて種々の様式が実用化され、施設の構造や係留特性等に関する研究も行われている。しかし、ホタテガイを最適な養成水深に保持し、上述の問題を解決することを目的とした研究は現在のところ見受けられない。本研究は、従来行われていた浮子を追加することによる水深調節方式に替えて、幹綱を舷側まで引き上げる必要の無い水深調節装置を開発し、当該作業の省力化と労働安全性の向上を実現しようとするものである。施設の構造や水深管理作業の内容について、北海道噴火湾森町で調査を行った。調査結果は施設を5基所有する平均的漁家で示す。1基当たりの垂下重量は、初期約23,520Nが11ヶ月後の収穫期には約94,160Nになる。この間垂下重量の増加に伴い、適宜力の増減と保持の実験をおこなった結果、浮力の増加は約8N/sec、浮力の減少は約5N/secで、各機器の動作を確認できた。

北海道噴火湾と青森県陸奥湾で4個のエアバッグを施設の一部に設置し、8ヶ月間の耐久性と機能性の試験を行った。作業には浮力調整の度に動作確認をし、作業日報に作業時間等に関するデータを記帳するように依頼した。この結果、期間

中の記録から浮沈装置を用いると1個所当たりの水深調節時間は約3分となり、作業時間の短縮は60%程度であった。作業状態は、立ったままの姿勢で片手で浮沈装置を操作していた。垂下物の重量変化に対する十分な水深調節機能を具備することと、長期間にわたる使用上の耐久性の確認もできた。

青森県陸奥湾で同規模施設を2系統準備し、1基は水深調節を20個のエアバッグを設置し(新方式)他の1基は従来方式で行う試験を5ヶ月間実施した。それぞれの作業内容を作業者に日報に記録してもらい両者間での作業と、ホタテガイの成育効果の違いについて検討した。

新方式では浮沈装置を操作した延回数は32回で、作業時間は延160分であった。一方、従来方式の施設では追加浮子総数は40個で、作業時間は延250分であった。この結果、作業時間の短縮は34%程度であることが判った。記録から浮沈装置の操作に手間取ったときの作業を除き作業時間を比較すると、作業時間の短縮は約52%であることが判明した。ホタテガイ成育調査結果から、従来方式と新方式との有意な差は認められず、エアバッグによる垂下は従来方式に比して問題はなかった。

浮沈装置は幹綱を引き上げずに、施設の垂下物の重量変化に対し十分な浮力を維持することができ、作業時間が大幅に短縮でき省力化効果も認められた。ホタテガイの垂下式養殖の浮力調節装置として十分実用性があるものと考えられる。また、船体に係留力が作用しないので小型の作業船でも十分利用可能であると判断された。

浮沈装置はホタテガイの垂下養殖の他に、コンブの垂下式養殖や深度の大きい養殖生け簀の水深保持と浮沈にも応用可能である。また、浮上沈降機能を利用すれば、底建定置網の網起しや海洋構造物の移動・設置への応用が考えられる。

本研究を進めるに当たり申請者が特に留意した点は、(1)機械装置の取り扱いに不慣れな作業者によっても容易に扱える操作の単純化、および、(2)誤操作においても回復が容易なように施設が常に浮上状態を保つフェイルセーフ機能を有する事、(3)装置が小型軽量で小型船に搭載が用意であり、かつまた、(4)装置駆動に別途エネルギー源を必要とせず、高圧空気ポンプのみを搭載すれば良いように空気調節弁の制御も空気圧の変化により行うように全く新しく考案した装置を採用している。これらの方法はホタテガイの垂下式養殖の水深管理に実用性のある機械化手法を与えるばかりでなく今後様々な水産業の省力化に寄与する手法となり得るものと考えられる。

今後様々な使用条件で広範囲に利用されるには、浮体部の波に対する応答特性と設計変数の感度解析を行い、係留安定領域とその条件を明らかにする必要がある。また、浮力制御部に関しても圧縮空気の管路流れを中心とした応答解析が課題である。以上のように、今後更に広範囲の応用を考えると残された課題も散見されるが、本研究課題である「ホタテガイ垂下養殖施設用空気式浮沈装置に関する研究」としてはおおむね総ての検討項目を網羅しかつ、実用性についての検討をもなしおえたものである。上記の各点から、審査員一同は、申請者が博士(水産学)の十分の資格があるものと判断した。