

沖合養殖施設の開発・改良に関する研究

水産工学研究所 水産土木工学部

漁場施設研究室 高木儀昌・森口朗彦

調査実施年度：平成9～11年度

調査目的

沿岸漁業の平成8年度の生産量約318万トンの内、海面養殖による生産量は約130万トンであり、生産額は5.6千億円となっている。漁業生産量が減少傾向にある中で、海面養殖生産は増加傾向にあり、水産物の安定供給において重要性が増している。

一方、国連海洋法条約の批准、生物の多様性保存条約の発効など、海洋の利用に関する国際的な規制が強化されつつある状況において、養殖による海洋汚染、外来種の導入による疾病の持ち込み、自然生態系への逸散による在来種との交雑などの危険性が増加している。

また、生産量については増加傾向にあるものの、養殖魚の消費については、景気の低迷と連動して伸び悩んでおり、生産額を維持するために生産量を増やすという、悪循環の傾向も窺われている。これは、養殖海面の過密化を助長することとなり、海域環境の一層の悪化が懸念される状況である。

このような国際的な取り決めや我が国の社会状況によって、魚を逃がさないための養殖施設の開発や海域環境の改善のための養殖海面の拡大、あるいは沖合化という対策が検討されている。

本研究では、我が国養殖業の抱える問題点の解決と将来性を考慮して、海面養殖業を200海里水域の有効利用における中核産業として位置づけで、沖合養殖の基盤整備を検討することとした。具体的には、既存の要素技術の整理、造成された養殖場の問題点の抽出・整理から、工学的な問題を取り上げ、沖合域の有効利用のための実用的なシステムを提案する。

調査海域

本調査では、日本海側で浮消波堤を初めて利用した造成事例であり、内海域で開発された造成技術をそのまま適用した事例でもある福井県高浜町内浦地区(参照図1)と外海型として新たに開発された浮消波堤を利用した造成事例である長崎県長崎市網場地区(参照図5)を調査海域として選定した。

高浜町内浦地区での調査は、内海型を外海域に適用した場合の技術上の問題点、浮消波堤を利用した養殖場造成の効果や有効利用するための留意点などを中心に実施した。長崎市網場地区での調査は、外海型として開発された浮消波堤の消波性能、荒天時の性能を把握することを目的として実施した。

内浦地区の調査結果

1. 施設の概要

浮消波堤の形式は空気式と呼ばれるタイプで、図2に示すように両サイドの区画を連通管で繋ぐことによって左右の空気室が一体となり、内部水面の動きとの相互作用により入射波のエネルギーを吸収する方式である。1基の大きさ、総延長は以下のとおりである。

浮消波堤：1基(長さ68.0 m×幅14.5 m×高さ8.7 m)、総延長 $L = 228$ m (3基)

設計条件は、以下のとおりである。

1) 自然条件

設置水深：28 m(平均)、潮位差：1.0 m

流速：0.5 m/sec、風速：28.0 m/sec

底質：シルト混じり砂

2) 波浪条件

表1に示すとおりである。

本事業の特徴は、消波対象波の周期が長く、外海からの波浪が直接入射する海域であることと、波が堤に対して斜めから入射することである。そのため係留索の本数やアンカーの重量が内海域に比べて増えており、アンカーの施工法や係留配置について工夫がなされている。

2. 調査概要

本調査では、浮消波堤現況調査、養殖施設現況調査および養殖場造成の効果に関する聞き取り調査を実施した。

1) 浮消波堤現況調査では以下の調査を行った。

① 浮消波堤堤体部現況調査

② 鎖・アンカー部現況調査

③ 蛸集魚類・付着生物調査

2) 養殖施設現況調査では以下の調査を行った。

① 養殖施設の構造および設置状況調査

② 水質環境調査(水温、塩分、溶存酸素濃度)

③ 流況調査

3) 聞き取り調査

養殖場造成をした結果、それまでと変化した事項について聞き取り調査を行った。

3. 調査結果

3.1 浮消波堤現況調査の結果

1) 堤体部現況調査

スキューバによる潜水で3基の堤体の係留索連結部を中心に調査した結果、破損・摩耗などの損傷は確認されなかった。

2) 鎖・アンカー部現況調査の結果

3基の堤体から延びる沖側6本の鎖・6基のアンカーを潜水調査した結果、堤体部に取り付けられた鎖は堤体との取り付け部を起点に海底まで緩やかな曲線を描いて着底していた。着底した鎖の周囲の底質は砂泥で、幅約2mの溝が鎖に沿って50m前後形成されており、溝の深さは深いところで最大1m程度であった。そこから沖側では鎖は、砂・泥を被り、完全に埋没する部分も認められた。

また、堤体から沖にのびる鎖で2ヶ所、他の鎖と交差した状態になっている場所が確認され、鎖どうしの接触跡が認められた。

3.2 養殖施設現況調査

生簀本体の構造(枠材料、浮力体、網、自動給餌機等付帯設備)、生簀網の状況(網本体、付着物)、アンカー・係留ロープ等の設置状況、アンカーおよび生簀直下の底質状況について調査を行った。

1) 生簀配置状況

浮消波堤背後の生簀の配置は、図3のように浮消波堤から湾奥方向に向かって3つの群が形成され、浮消波堤に近い方の群から6列、7列、4列の計17列が配置されていた。なお、1列当たり10台程度の生簀が連結されていた。列と列の間隔は25m、生簀間隔は4～6mである。

問題点としては、消波堤背後100～150mの範囲が静穏域にも拘らず、浮消波堤の鎖・アンカーと生簀係留ロープが交差するために、利用できない状態となっていた。

2) 生簀の係留およびアンカー設置状況

生簀の係留は、10台程度の生簀(寸法:7.0m×7.0m×6.0m)を1セットにして連結し、アンカー(60Kgの片づめアンカー)は前後に2基ずつ設置され、横張アンカーを生簀3台に1ヶ所程度の間隔で設置されていた。なお、1ヶ所当たりのアンカーは30Kgサンドバッグ10袋を使用していた。

このような係留システムを採用することによって、冬季に来襲する大波浪にも生簀を移動する必要がなくなった。ただし、浮消波堤直後の生簀には波当たりが強いため、空の状態に係留していた。

3) 生簀本体の構造

生簀の仕様は、図4に示すとおりで、枠材料は105mm×90mmの落葉樹を使用し、浮力体にはφ300サイズのプロートを1台当たり10個使用していた。

生簀網は、かん養魚の体長に応じた数種の網目を使用し、大きさは内寸法で6.0m×6.0m×6.0mである。

3.3 聞き取り調査結果

聞き取り調査の目的は、浮消波堤設置後の養殖場の環境や生産活動での変化を調査し、養殖場造成の効果と問題点を把握することである。

調査の結果、以下のようなことが判った。

1) 生簀の台数について

生簀台数は、浮消波堤設置前130台程度であったが、設置後は浮消波堤背後域のみで170台程度(平成9年6月)に増加した。

2) 養殖生産量について

- ・ 養殖生産量は浮消波堤設置前に比べて増加した。
- ・ 漁業協同組合の取扱量が、設置前19t程度(平成3年)であったものが、設置後30t以上(平成7年以降)となった。

3) 水質について

水質、特に溶存酸素濃度は設置前に比べて改善された。設置前4.0mg/lであった箇所が6.0mg/lに改善された。(組合の生簀周辺での溶存酸素測定結果より)

4) 養殖魚の生残率について

設置後生簀台数を増やし、トラフグについて1生簀当たりの養殖尾数を減らした結果、生残率が40%から70%に向上した。この生残率の向上が、直接的に生産量の増大に寄与した。

5) 漁場の過密化について

漁場の過密化については緩和された。

6) 漁業後継者について

経営体数には増減は無く、子弟が後継者となっており、世代交代がスムーズに行われている。養殖面積が広がったことによって、親子で養殖を行うケースもでてきている。

7) 生簀の係留、配置について

浮消波堤の設置後、生簀の間隔および配置間隔を以下のように変更した。

生簀間隔: 2m → 4～6m

- ・ 列の間隔： 10 m → 25 m
- 8) 養殖対象魚種について
 - 〈浮消波堤設置前の主要対象種〉
 - トラフグ、マダイ、クロダイ、ハマチ
 - 〈浮消波堤設置後の主要対象種〉
 - トラフグ、マダイ、クロダイ、シマアジ
 - 〈設置後、養殖尾数が増大した魚種〉
 - クロダイ： 1万程度尾 → 2万尾
 - シマアジ： 1千～2千尾 → 5千～1.3万尾
- 9) 養殖魚の病気の発生率や寄生虫について
 - ・ トラフグ、マダイの病気の発生率が低下した。
 - ・ ハマチの寄生虫が少なくなった。
- 10) 養殖魚の成長について
 - ・ マダイ、シマアジの成長率が向上した。

浮消波堤設置前には、マダイが1 Kgサイズになるには2年間の生育期間を必要としたが、設置後は1年8ヶ月に短縮した。これは静穏度が向上した結果、冬季の餌やりの回数が増えたためと考えられている。

本調査結果から、浮消波堤を利用した養殖場の沖合展開は、養殖生産の増大に寄与し、養殖魚類の生残率向上、魚病の減少にも効果が認められ、造成の目的を達成していることが確認された。

4. 施設上の問題点

本調査によって把握できた施設の改良点及び今後の技術開発の方向について、以下に主要な点を示す。

- ・ 斜め入射波対策として設けた、縦係留索と岸・沖方向の係留索が交差する箇所において、鎖どうしが接触し、摩耗していることが確認された。この点は、鎖の耐用年数や堤体の安全性確保における問題点であり、早急に対策を検討する必要がある。
 - ・ 浮消波堤の場合、堤体背後にも係留索が配置されるため、堤体からアンカーまでの距離が生簀が設置できない空白地帯となってしまう。ここでも、100 m～150 mの範囲が空白となっており、3から4 haの静穏海面が利用できない状態となっていた。
- この静穏海面を有効に利用するためには、浮消波堤および生簀それぞれの係留系の改良が必要である。

以上のことから、沖合域に養殖場を拡大するための課題を検討した結果、外海からの大波浪が来襲する海面において、養殖生簀を移動せずに養殖を営むためには、個々の経営体が勝手な仕様で生簀を係留することは許されず、同一の仕様で係留することが重要な要素となっている。内浦地区でも、同一仕様の生簀を10台程度まとめて岸沖方向に係留する方式が採用されており、安全性を確保するための漁業者の工夫が窺われる。

現在、浮消波堤の堤体規模は消波対象波を1 m以下にすることから決定されており、年数回の大波浪に対して浮消波堤の消波効果はほとんど無いことになっている。しかし、実際には大波浪時にも、ある程度の消波効果は発揮されており、生簀の安全性に寄与していることが認められている。

今後沖合化を進める上では、大波浪対策に重点をおいた技術開発が重要であり、特に浮消波堤と背後に配置される生簀群を一体として考えた施設開発が必要である。

網場地区の調査結果

1. 施設の概要

平成10、11年度の調査では、浮消波堤の大波高時の性能を把握することを目的とし、長崎市網場地区における養殖場を調査海域に選定した。長崎県長崎市網場湾湾口に造成された浮消波堤は、外海型の浮消波堤（一部重力堤）を用いた初めての事例である。養殖場および浮消波堤の位置を図5に示す。

浮消波堤の形式は内部水流振動型と呼ばれるタイプで、図6に示すように堤体内部に2系列の水の流れが発生し、その動きによって消波する方式である。1基の大きさ、総延長は以下のとおりである。

浮消波堤：1基（長さ57.0 m×幅11.0 m×高さ8.3 m）、総延長 $L = 200$ m（3基）
設計条件は、以下のとおりである。

1) 自然条件

設置水深：17～28 m（平均）、潮位差：3.8 m（H.H.W.L.）

流速：0.761 m/sec、風速：40.0 m/sec

底質：粘土

2) 波浪条件

表2に示すとおりである。

本事業の特徴は、消波対象波の周期が長く、外海からの波浪が直接入射する海域であることから、外海型の浮消波堤を初めて使用した点にある。また、浮消波堤設置地点の海底はN値が0という軟弱地盤となっており、軟弱地盤を考慮したアンカーの施工法や係留配置について工夫がなされている。

2. 調査概要

本調査では、浮消波堤現況調査、消波効果、特に大波高に対する効果に関する調査を実施した。

1) 浮消波堤現況調査では以下の調査を行った。

① 浮消波堤堤体部現況調査

② 蛸集魚類・付着生物調査

2) 消波効果に関しては以下の調査を行った。

本海域での調査の主目的は、外海型浮消波堤の荒天時（台風時）の高波浪における性能を把握することであり、台風の通過確率の高い時期を選定し、波浪観測を実施した。

波高計は水圧式を2台使用し、図5に示した浮消波堤の沖側と岸側の水深20 mの位置に設置した。設置期間は、平成10年7月17日～平成10年9月11日の45日間、平成11年7月13日～平成11年9月13日の45日間とし、観測間隔は2時間毎に10分間とした。

3) 養殖魚の破網・逃亡事故調査では以下の調査を行った。

① 全国の養殖生物の逃亡・流出に関する調査

② 長崎県における破網・逃亡に関する調査

3. 調査結果

3.1 浮消波堤現況調査の結果

1) 堤体部現況調査

スキューバによる潜水で堤体の係留索連結部を中心に調査した結果、破損・摩耗などの損傷は確認されなかった。

2) 蛸集魚類・付着生物調査

調査により確認された蛸集魚類および付着生物は、以下のようであった。

- ① 蛸集が顕著であった魚種は、メジナ、メバル、マアジの3種で、いずれの種も体長の異なる複数の年級群の定着が観察された。
- ② その他の有用種では、インダイ（未成魚）、マダイ（大型成魚）が見られた。このうちインダイについては隣接する音響給餌ブイ施設で放流された標識付きのものが含まれていた。
- ③ 蛸集魚は、堤体下部から底面にかけてのほぼ全域に分布し、係留チェーンの周辺部には特に顕著であった。
- ④ 付着生物としては、ムラサキイガイ、フジツボ類、ホヤ類、コケムシの類であった。有用種としては、ムラサキウニやサザエが確認され、特にサザエは堤体内部に多く生息していた。
- ⑤ 付着藻類としては、クロメ、ミルが確認された。

3. 2 消波効果に関する調査結果

観測された波高データから有義波高を算出し、観測期間中の波高・周期の出現率を平成10年度の結果と比較して図7、8に示した。

結果から、平成11年度の観測期間中に得られた波浪の15%は周期5 sec以下、波高10 cmであり、平成10年度に比べて静穏な期間は少なかったことが理解される。これは、本海域近傍に調査期間中に台風が2回（7/27、8/3）来襲したための結果と考えられる。

期間中に観測された波浪は周期6 sec～9 sec、波高20cm～75cmの範囲が中心となっており、浮消波堤の消波対象波に比べてやや周期が長い範囲までであった。しかし、今回の観測では、平成10年度では観測されなかった周期が長く、高い波高データも僅かではあるが得ることができた結果、目的とする大波高時での消波性能を把握することができた。

沖側および岸側において算定された有義波高および有義周期の相関図から、波高に関しては岸側は沖側に比べて71%程度の数値を示し、周期に関しては変化が無いことが把握された。これは、平成10年度とほぼ同様の結果であった。（参照図9、10）

以上の結果から沖側から入射した波が浮消波堤によって減殺され、岸側波高計で観測されたものと仮定し、透過率を算定した。結果は、計画時に実施した水槽実験による結果と比較して、図11に示した。

これらの結果から、水槽実験時の消波性能に類似する性能を示していることが把握された。また、長周期の領域（ $\lambda/B = 7$ 以上）では計画時の消波性能に比べて1割から2割程度高い性能となることも判った。特に波高が高くなるにしたがって、その傾向が顕著に現れており、大波高時には稼働時の消波性能とは異なり、計画時に比べて高い性能を持つことが推察された。

3. 3 養殖魚の破網・逃亡事故調査の結果

全国漁業共済組合連合会の養殖共済事故報告書から平成6年～8年における養殖魚の破網・逃亡事故の件数、事故原因を表3のようにまとめた。その結果、原因の大半は台風に起因するものであることが把握された。そして直接的な原因は、生簀網の破網、生簀内でのスレによる死亡、係留施設や生簀枠などの流出や沈没であった。中でも、漂流物による生簀網の破網が大多数であることを認識した。

表3は、長崎県における破網・逃亡事故の内容を取りまとめたものであるが、この結果からも破網が原因の大半であることが判る。

施設上の問題点と対策

浮消波堤を利用して造成された2ヶ所の養殖場調査から以下のような施設に関する問題点が抽出された。

- 1) 斜め入射波対策として設けた、縦係留索と岸・沖方向の係留索が交差する箇所において、鎖どうしが接触し、摩耗する。
- 2) 浮消波堤の場合、堤体背後にも係留索が配置されるため、消波堤からアンカーまでの区間が、生簀の係留ロープとの接触の可能性があるため、生簀を設置できない海面となる。
- 3) 浮消波堤の計画及び設計において、年数回の大波浪に対する消波効果はほとんど考慮されていない。養殖場の沖合化において、生簀の設計や安全性、さらには造成費用にも影響を与える。
- 4) 養殖網の破網や養殖魚の逃亡の多くは、台風時などの時化や強風が原因となっており、直接の原因は漂流物による破網が大半である。

上記問題点を検討した結果、

1)については、縦係留索の使用を少なくし、岸・沖方向の係留索の展張角度で対応可能であることが判った。

2)については、安易な方法として浮消波堤に直接生簀を係留する方法が考えられたが、水槽実験の結果、浮消波堤と生簀の係留はそれぞれ独立したシステムのほうが安全性が高いことが判った。したがって、浮消波堤背後の水面の利用には、浮消波堤係留索に接触し難い生簀係留索の配置と接触した場合にも安全性が確保できる係留装置の設置が必要となることが判った。

3)については、現地観測の結果から長周期、大波高において実際の消波性能は計画時に比べて高くなることが把握された。しかし、実際に観測された波高は、目的とした数値に比べて低い値であるため、得られた消波性能についても設計に利用できるものとは言い難い。したがって、今後も観測を実施し、多くの現地データを集積することで精度の高い消波性能にする必要がある。

4)については、個々の生簀の生簀網を化繊網から金網や高強度繊維に代えることで、大幅に改善されることが判った。しかし、養殖作業の効率の悪化や網に関する費用の増大などで、個々の養殖業者には大きな負担となる。一方、漂流物は沖からや河川から流れて来るため、全ての生簀で対策をする必要は無いことも理解できる。したがって、養殖場あるいは生簀の前方で漂流物をトラップすることを目的とした施設が有効であろうことが推察できる。

摘 要

本調査により、以下のような結果が得られた。

- 1) 浮消波堤を利用した養殖場の沖合展開は、養殖生産の増大に寄与し、養殖魚類の生残率向上、魚病の減少にも効果が認められ、造成の目的を達成していることが確認された。
- 2) 浮消波堤の消波性能、係留方法に関しての問題点として、沖合化に対しては養殖施設や養殖生物の安全性を確保するため長周期、大波高の消波性能の向上、浮消波堤の係留索と生簀係留索の接触防止と未利用海面の最小化の対策が抽出され、今後の計画、設計の改善点が明かとなった。
- 3) 浮消波堤背後の静穏海域を有効に利用するための生簀の係留及び配置の考え方を提案

し、生簀の安全性を確保するための係留装置の必要性が示された。

- 4) 養殖魚の逃亡の原因が、流木などの漂流物が主な原因であることが明かとなり、養殖魚の逃亡・逸散を防止する施設として漂流物トラップの必要性が示された。
- 5) 浮消波堤の現況調査において、堤体内外には、マアジ、メジナ、メバルなどの魚類、内部及び側面にはイセエビ、ムラサキウニやサザエなどの水産として有用な生物の生息、内部の遊水部にはホンダワラ類の海藻が確認され、漁場及び増殖機能などの副次的効果が窺われた。

最後に本調査は、福井県高浜町及び内浦漁協、長崎県長崎市及び網場漁協の多大なるご協力のもとに実施できたことを記して、関係者各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 高木儀昌・明田定満(1992): 福井県高浜地区養殖場造成に係わる水理模型実験—浮消波堤の配置計画と安全性について—, 水産工学研究所技報(水産土木), 14, 37-75.
- 2) 高木儀昌・大村智宏・尾崎雅彦・磯崎芳雄・荒見敦史・門野明・長野章(1995): 新型浮消波堤の実海域応用に関する実験的研究, 水産工学研究所研究報告, 16, 29-57.
- 3) 鍵山博(1995): 新型浮消波堤の開発, Sci.&Tech. Journal of JIMSTEF, (社)国際海洋科学技術協会, Vol.18 No.4, 31-40.
- 4) 高木儀昌(1996): 浮消波堤による養殖場沖合化の取り組み, 日本造船学会誌 第809号, 27-31.
- 5) 高木儀昌・福井洋介・高橋睦・森口朗彦・佐久田昌昭(1998): 養殖生簀の流体力学的特性に関する実験的研究 その1 その2, 平成10年度日本大学理工学部学術講演会論文集, 734-737.

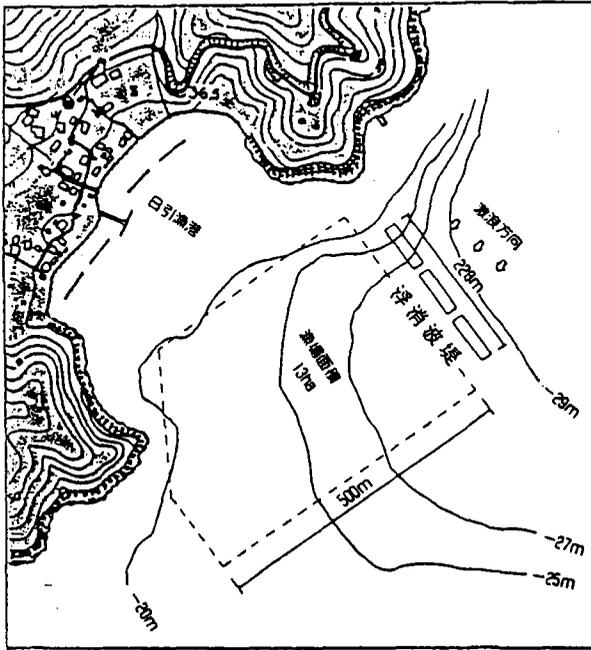


図1 浮消波堤設置場所

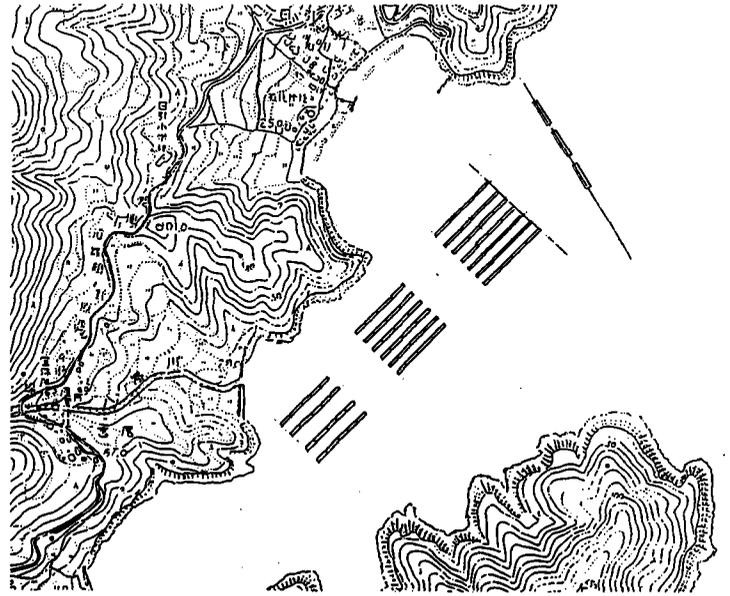


図3 生簀配置状況

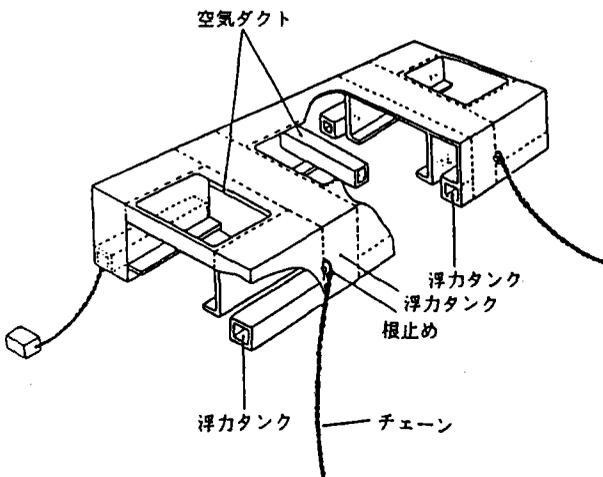


図2 浮消波堤構造図

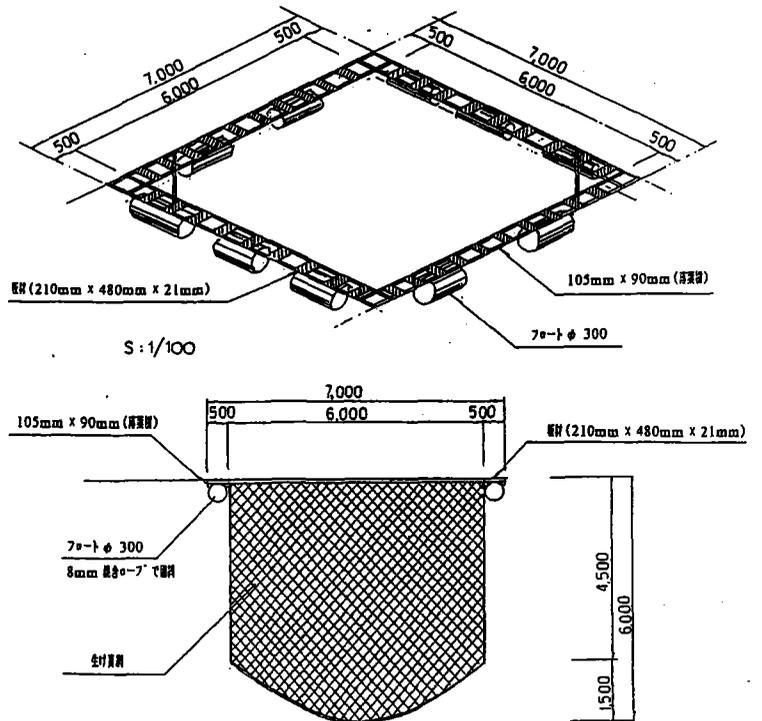


図4 養殖生簀の仕様

表1 設計波条件

	消波対象波		構造設計波
	波高(H1/3)	1.3m	1.4m
周期(T)	7.5sec	6.0sec	11.7sec
波長(λ)	87.8m	56.2m	171.4m
波向	NNW	N	N
透過率	0.6	0.5	-

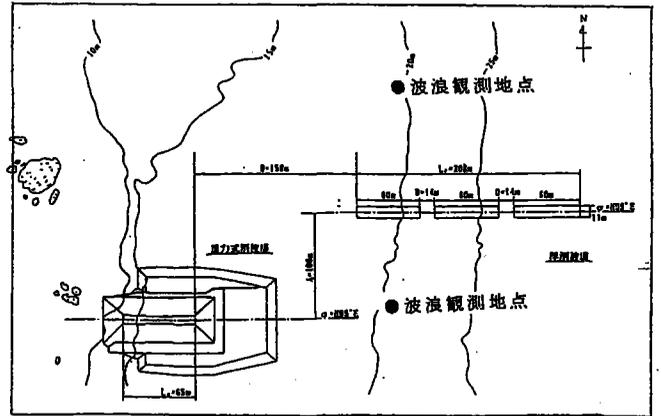
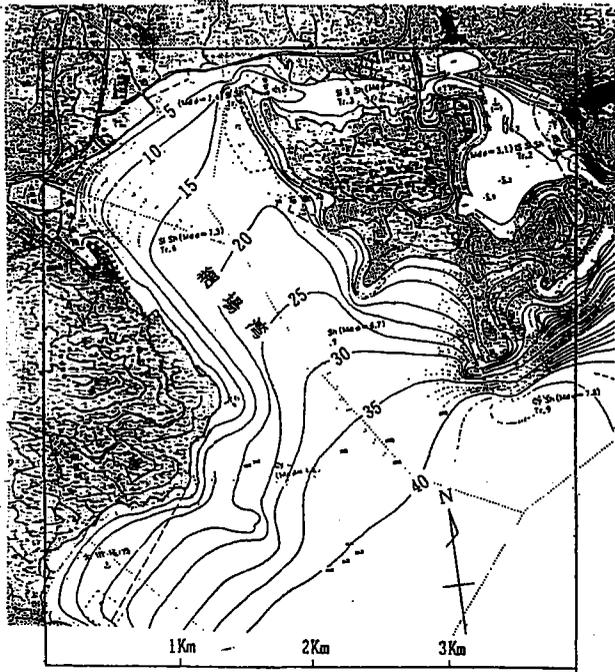
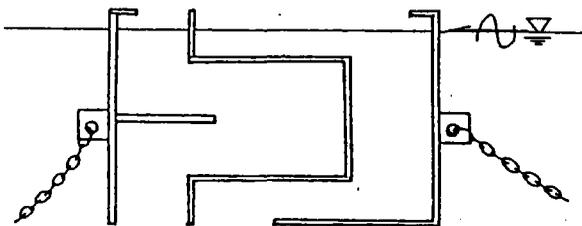
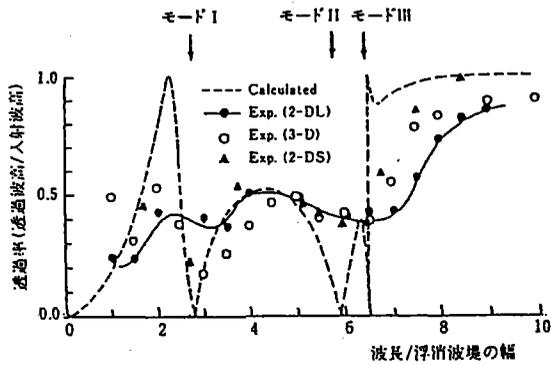


図5 浮消波堤設置場所



外海型浮消波堤基本断面



消波性能

図6 浮消波堤の基本断面と消波性能

表2 設計波条件

	消波対象波	構造設計波
波高 (H 1/3)	2.0 m	4.7 m
周期 (T)	6.7 sec	13.3 sec
波長 (λ)	70.0 m	276.0 m
波向	SSW	SSW
透過率	0.5	-

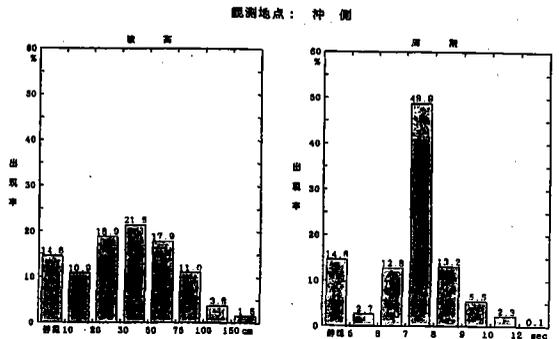
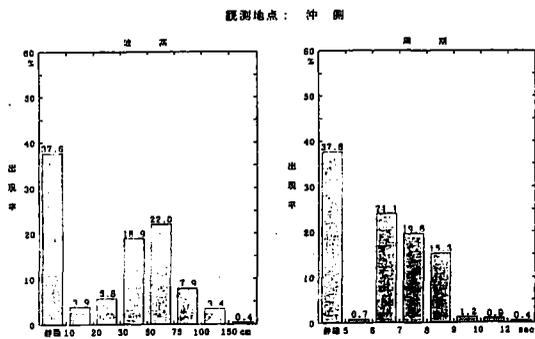
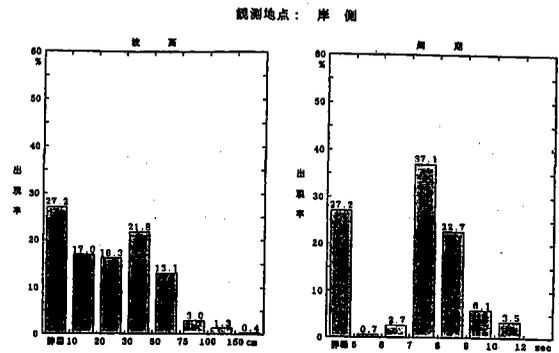
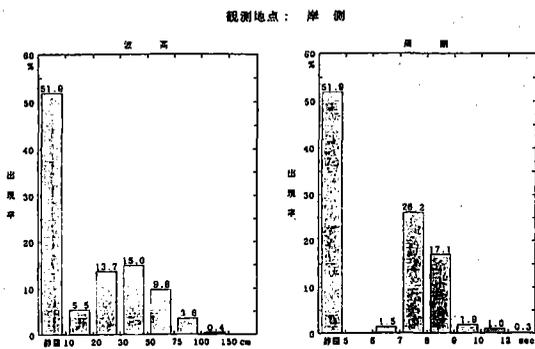
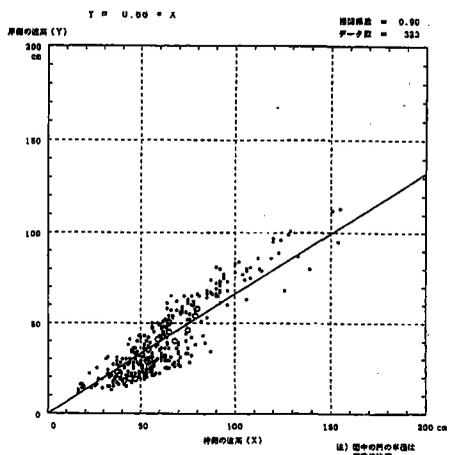
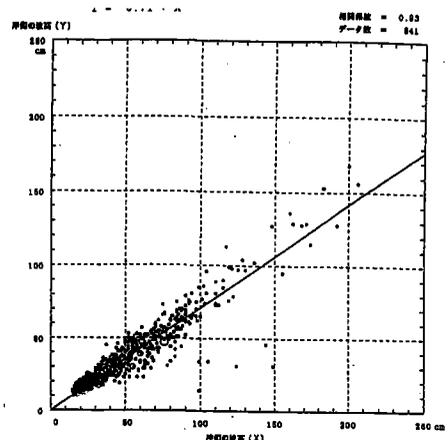


図7 岸側と沖側の波高・周期の出現率（平成10年度）

図8 岸側と沖側の波高・周期の出現率（平成11年度）

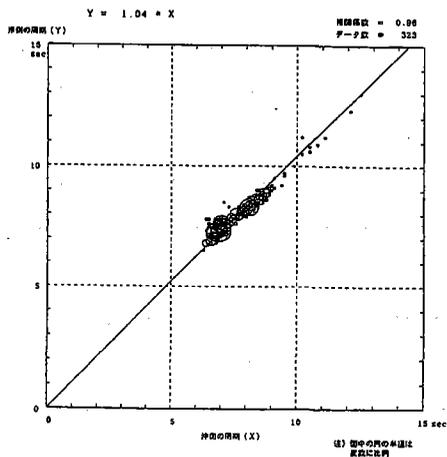


平成10年度

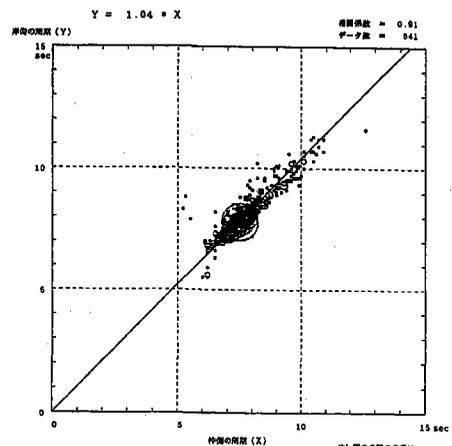


平成11年度

図9 沖側と岸側の有義波高の相関



平成10年度



平成11年度

図10 沖側と岸側の有義周期の相関

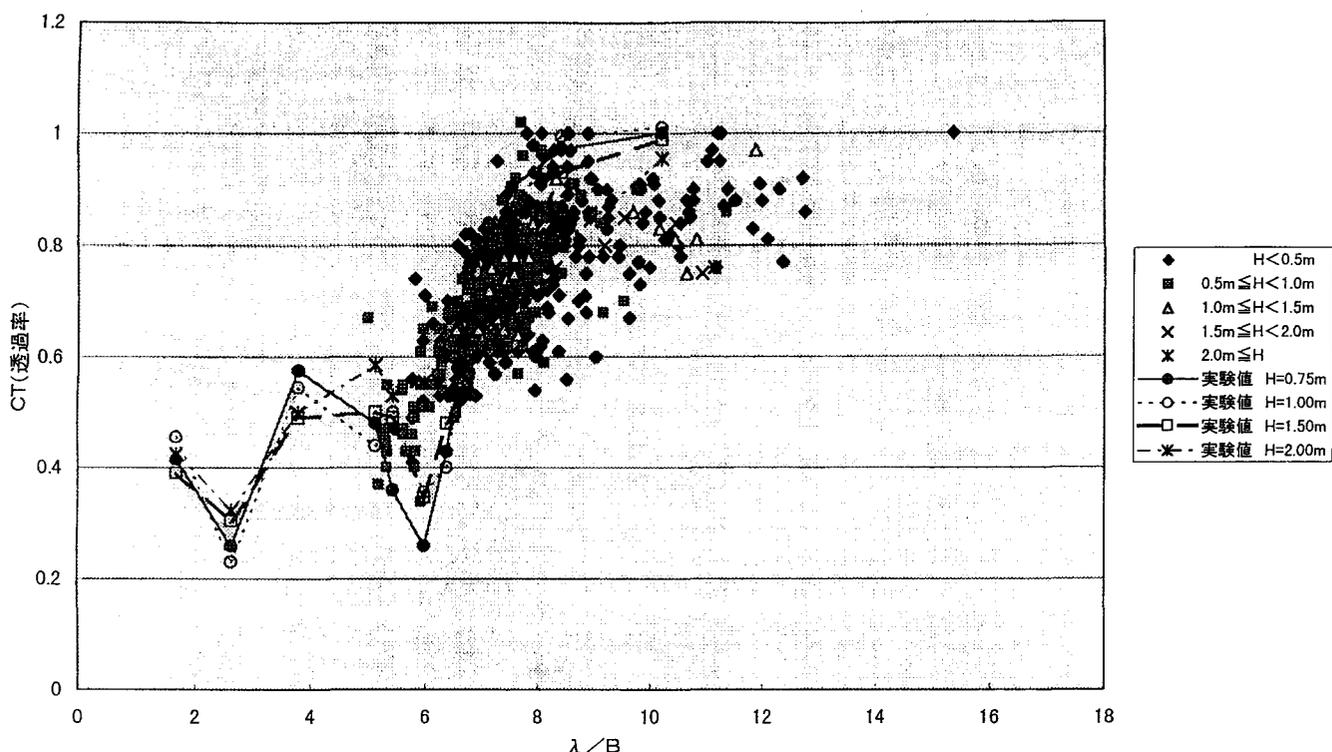


図 1.1 消波性能に関する実験結果と現地観測結果の比較（平成 11 年度）

表 3 長崎県における養殖共済（生物）の破網・逃亡事故状況

平成6年度(H6・4月~H7・3月の支払)

魚種	事故件数	事故発生日	事故状況	逃亡尾数
はまち(1#)	3	平成6年10月13日	台風29号に起因するO ₂ 不足による死亡事故	約141,000
はまち(2#)	2	平成6年9月28日	台風26号による破網逃亡事故	9,300
たい(2#)	2	平成5年7月29日	台風6号による "	7,000
たい(2#)	1	"8月10日	台風7号による "	6,900
たい(3#)	1	平成6年12月2日	時化の時の流れ物による破網逃亡事故	7,900
たい(3#)	1	"8月13日	" "	2,800
たい(3#)	1	"3月13日	" "	1,300
ふぐ(2#)	1	平成5年9月3日	台風13号による破網逃亡事故	2,700
ふぐ(2#)	1	平成6年10月11日	台風29号による "	2,400

平成7年度(H7・4月~H8・3月の支払)

魚種	事故件数	事故発生日	事故状況	逃亡尾数
はまち(2#)	1	平成7年3月10日	時化の際の流れ物による破網逃亡事故	約3,500
はまち(2#)	1	"7月19日	魚類(サメ等)による "	3,800
はまち(2#)	2	"7月23日	台風3号による破網逃亡事故	2,300
はまち(2#)	1	平成8年1月9日	時化による網落ちによる逃亡事故	2,300

平成8年度(H8・4月~)

魚種	事故件数	事故発生日	事故状況	逃亡尾数
はまち(1#)	1	平成8年1月9日	時化の際の流れ物による破網逃亡事故	1,800
はまち(2#)	1	平成7年12月8日	" "	2,900
はまち(2#)	1	平成8年1月30日	" "	500
たい(3#)	1	平成8年1月9日	" "	3,200