

博士（水産学） 高木 力

学位論文題名

漁場造成用波浪制御構造物に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

【目的】沿岸における生産性を高めるために波浪条件の厳しい外洋域を増養殖場として積極的に造成し利用することが以前から検討されてきている。しかし外洋域では直接波浪の影響を受けやすく、網生簀などの施設の損壊や流失を防止するために波浪制御構造物を設置して施設周辺海域を静穏に保つことが重要な課題となっている。

波浪制御構造物は重力式消波堤や浮消波堤をはじめとして今までに種々のものが考案されてきている。そのうちの一つに没水平板構造物がある。これは、一定水深に平板を水平あるいは傾斜させて設置することによって波浪を制御しようとするもので、次に示すような特徴を持っている。

1. 必要な建設資材が少なくてすむ。
2. 海面上の景観を害する事がない。
3. 占有する空間が小さいので海水交換性が高い。

平板上を藻場造成用の基質として利用すれば人工海底の機能も具備させることができ、没水平板構造物は外洋域での漁場造成において最も適した波浪制御構造物として期待できる。

しかしながら、没水平板周辺の波動場を解析した既往の研究では鉛直2次元モデルで扱っている場合がほとんどで3次元モデルで解析した例は非常に少ない。特に、海域条件や没水平板の諸元を様々に変化させた場合、平板周辺の波高分布状態、波浪による水粒子の運動、平板に作用する波力などの物理的諸量がどのように変化するかといったことを系統的に解析した例はほとんどなく、没水平板の最適な設計条件については十分に明らかにされていないのが現状である。

本論文は、海域条件や没水平板の諸元および設置条件を数段階に変化させて没水

平板周辺の波動場をポテンシャル波動論に基づく境界値問題に帰着させて3次元的に解析し、外洋域での漁場造成に必要な波浪制御構造物を最適設計するための基礎資料を得ることを目的としている。

【方法】3次元波動場における波と海洋構造物の干渉に関する波動境界値問題の解法には、本研究では汎用性やプログラム開発の簡便性を考慮して境界要素法を適用した。そして、できるだけ計算機容量を少なく抑える工夫として、3次元場における境界要素法と2次元場における境界要素法を併用したハイブリッド法（以下ハイブリッド境界要素法と呼ぶ）を新たに提案することを試みた。これは構造物近傍に仮想境界面を設けて、流体領域を外部と内部領域に分け、内部領域では支配方程式の基本解を核関数とする境界積分方程式を適用し、外部領域では2次元 Helmholtz 方程式の基本解を核関数とする境界積分方程式を用いて両者で得られる解を求め、これらを仮想境界面上で接続することによって未知ポテンシャルを決定するものである。これによって構造物の形状や海底地形を任意に設定できるほか、計算領域の水平断面形状も自由に設定できるので、未知数の増大を抑えることができる。

まず、ハイブリッド境界要素法を適用する際の適切な要素分割方法について吟味するため、計算領域の境界面上の要素分割を種々変化させて計算値の収束性について調べた。また、境界面近傍でポテンシャル値を算定する際は基本解の特異性により計算精度が低下するおそれがあるので、これについても検討した。

次に、ハイブリッド境界要素法の妥当性について検証するため、円柱構造物周辺の波高分布を求め、他の解法による厳密解と比較した。また、水槽実験を行い規則波中での直方体構造物模型周辺の波高分布と作用波力を測定して計算結果と比較検討した。

上述の検討結果を踏まえ、没水平板周辺の波高分布、流況、平板に作用する波力を算定した。解析の対象とした平板は単純な矩形で、鉛直方向の厚みは無視した。平板の縦横比は、幅を w 、長さを l として、 $w/l = 1.0, 2.0, 3.0$ と変化させた。ただし l は常に一定とし設置海域の水深 h と等しくした。水平面に対する平板の傾斜角 θ_0 は平板の幅方向を軸にして傾斜させるものとし $\theta_0 = 0^\circ, 10^\circ, 30^\circ$ と変化させた。入射波の波向きに対する平板の設置角 θ （平板の幅方向に対して垂直に入射する場合を 0° とする）は、 $\theta = 0^\circ, 45^\circ$ に変化させた。平板の没水深 d は $d/h = 0.3, 0.5$ に変化させた。入射波の波数 k は $kh = 1.0, 2.0, 3.0$ に変化させた。以上述べた全ての組み合わせについてハイブリッド境界要素法を用いて諸量を算定した。

【結果および考察】計算領域境界面上の要素分割方法の検討結果から、領域側面の鉛直方向分割については水深の $1/10$ 以下の幅で分割し、その他については $1/5$ 以

下にすれば実用上ほぼ満足のいく結果が得られることがわかった。

境界面近傍でポテンシャル値を求める場合、境界面との距離を r 、面素の一辺の長さを ΔS とすれば、 $r \leq \Delta S/2$ となる条件で算定値の精度は低下することが示唆された。そのため本研究では、 $r \leq \Delta S/2$ となるような点でのポテンシャル値の算出は避けるようにした。

円柱構造物周辺の波高分布について本解法による算定結果と領域分割法による厳密解とで比較したところ両者は非常によく一致した。また、水槽実験による実験値と計算値との比較では水路側壁の影響が強く表れる入射波条件を除いて波高分布、波力とも実験値と計算値はほぼ満足のいく一致が見られた。このことから本解法には妥当性があるものと判断できた。

没水平板の周辺における波高分布を算定した結果、どの条件でも平板の両側から岸側に向けて八の字状に波高の低い領域が出現した。また、入射波の波長 $kh = 1.0$ の場合、今回の条件では波高の低減効果はほとんど期待できないことがわかった。また、平板の縦横比 w/l が 2.0 以上では、入射波に対する波高比が 0.8 以下の領域が増大した。平板の傾斜角を $\theta_0 = 30^\circ$ とすると平板自体が波を強く反射させる効果を持つことが示唆され、消波効果が増大した。各条件ごとに、没水平板周辺での波高が低くなる領域を算出して消波効果について検討したところ、本研究で行った範囲内では没水平板の縦横比 $w/l = 2.0$ 以上、水深比 $d/h = 0.3$ 、傾斜角 $\theta_0 = 30^\circ$ 、設置角 $\theta = 45^\circ$ の条件下で、消波効果が高かった。

没水平板周辺の波浪による流況を算定した結果、平板の岸側端では水粒子が激しく擾乱される様子が確認され、平板上での碎波や強い渦流が発生することが示唆された。また、平板後方では水粒子速度は顕著に減少し、効果的に波浪エネルギーが逸散されていることが示された。

平板に作用する波力は平板の諸元や入射波の条件によって大きく変化するが、波浪制御効果の高い条件では一般に作用波力も増大する。消波効果が高かった上記の条件では鉛直波力 F_z は $kh = 2.0$ で $F_z/\rho g \zeta_i h^2 = 0.8$ 、水平波力 F_x は $kh = 2.0$ で $F_x/\rho g \zeta_i h^2 = 0.5$ となった。ここに、 ρ は海水の密度、 g は重力加速度、 ζ_i は入射波の振幅を表す。これをもとに波高 3m、周期 8sec、水深 30m の海域条件を想定して実際の波力を試算してみると単位面積あたりの平均鉛直波力は $0.6 \text{tonw}/\text{m}^2$ 、平均水平波力は $0.3 \text{tonw}/\text{m}^2$ となり莫大な力が働くことになる。特に平板の没水深が浅くなると構造物に作用する転倒モーメントはかなり大きなものとなる。本研究では対象とする波動場を規則波に限定し線形波理論のもとで解析を行ったが、今後は、より実現象に近づけるために波動の非線形効果や不規則性も考慮した解析が必要である。

学位論文審査の要旨

主査 教授 梨本 勝昭
副査 教授 天下井 清
副査 教授 烏野 慶一
副査 教授 山本 勝太郎
副査 講師 平石 智徳

学位論文題名

漁場造成用波浪制御構造物に関する基礎的研究

国際的に定着した200カイリ制度の下で、世界の漁業生産量は約1億トンを越えた1989年以降横ばい状況となり、海洋生物資源の生産に限界が見えはじめている。そのため地球環境を保全しながら、海洋の生産力を最大限に活用し、海洋生物資源を永続的かつ計画的に生産して食糧として供給することが強く要望されている。我が国においては乱獲によって著しく資源水準が低下した資源もあり、周辺海域の空間を有効かつ高度に利用し、沿岸海域で取組まれている作り育てる漁業、資源培養型の漁業をなお一層おし進める必要がある。今後、沿岸や沖合の漁場造成整備事業は益々重要視され、飛躍的な生産の増加が期待される。

沿岸における生産性を高めるために波浪条件の厳しい海洋域を増養殖場として積極的に造成し、利用することが検討されている。しかし、外洋域では直接波浪の影響を受けやすく、網生簀などの施設の損壊や流失を防止するため波浪制御構造物を設置して、施設周辺海域を静穏に保つことが大きな課題となっている。波浪制御構造物としては重力式消波堤、浮消波堤など今までに種々考案されている。その一つに没水平板構造物がある。

申請者は沿岸海域の漁場空間を有効的に利用するために漁場造成用波浪制御構造物として、消波と人工海底基盤との複合的機能を持たせ得る没水平板を用いた構造物に注目した。没水平板構造物は平板上を藻場造成や底着性動物の生育場として利用すれば人工海底の機能も具備させることができ、外洋域での漁場造成において最も適した波浪制御構造物として大いに期待できる。没水平板周辺の波動場を解析した既往の研究では鉛直2次元モデルで扱っている場合がほとんどで、3次元モデルで解析した例は非常に少ない。特に海域条件や没水平板の諸元を様々に変化させた場合、平板周辺の波高分布状態、水粒子運動、平板に作用する波力などの物理的諸量の変化状況について系統的に解析した例

はほとんどなく、没水平板の最適設計条件については十分明らかにされていないのが現状である。本論文は没水平板構造物を対象にして、構造物周辺の波の変形、流況について3次元的解析を行い、外洋域での漁場造成用波浪制御構造物としての有効性について検討したものである。

本論文ではポテンシャル理論に基づいた3次元の波動場における波と海洋構造物の干渉に関する波動境界値問題の解法に対して積分方程式内の核関数に単純な基本解を用いる境界要素法を適用した。その際、構造物周辺に仮想境界面を設定して、内部領域と外部領域に分け、前者の領域には三次元のグリーン公式を、後者の領域には次数を下げ二次元のグリーン公式を適用させるハイブリッドな計算法を導入して、任意の物体形状に対して簡易に数値解を求める手法を提案した。そして、平板を一定水深下に水平あるいは傾斜させて設置し、消波と人工海底基盤との複合的な機能を持たせ得る漁場造成用波浪構造物について注目し、様々な波浪条件下において、没水平板構造物周辺の波の変形、水粒子運動、および作用する流体力について、設置水深、平板の大きさ、傾き、波浪の入射方向を変化させて解析を行い、没水平板を最適設計するための基礎資料を得たものである。

特に審査員一同が高く評価した点は以下の通りである。

- 1) 3次元の波動場における波と構造物による波動境界値問題の解法において、構造物近傍に仮想境界面を設定することによって、内部領域には三次元のグリーン公式を、外部領域には二次元のグリーン公式を適用して、両者で得られる解を接続させるハイブリッドな計算法を導入し、パソコンを用いて容易に波の変形、水粒子速度、波力について数値解析する手法を確立した点。
- 2) ハイブリッド境界要素法を適用する際の要素分割数による精度の影響について検討し、鉛直方向については水深の1/10以下の幅で、水平方向については1/5以下の幅で分割することが必要であること。また、境界面近傍における計算では境界面との距離は面素の一辺の長さの1/2以下にすると算出精度が悪くなることを指摘した点。
- 3) 没水平板構造物を対象に解析を進め、波高分布、水粒子運動、構造物に作用する波力について詳細に数値解析し得た点。
- 4) 没水平板構造物を消波堤として用いる場合には平板の縦横比は2.0、設置水深比は0.3、平板の傾斜角は30°、設置角は波の入射方向に対して辺を45°にした時が最も消波効果が良いことを指摘した点。

以上の諸点は漁場造成用波浪制御構造物を設計するために水産工学上重要な知見を得たものと高く評価できる。よって審査員一同は本論文が博士（水産学）の学位論文として価値あるものと認定した。