

渦励起型長周期波制御構造物の開発

学位論文内容の要旨

急速に発展するアジア経済のなかで、海洋基本法施行のもと、海洋産業の振興および東アジアにおける我が国の港湾に対する国際競争力の強化の必要性が高まり、広範囲に渡る港湾に関わる新たな施策が検討されている。港湾機能の強化、制度や手続きの簡素化・迅速化を図り、海上物流サービスの改善が目標の一つに掲げられ、物流の効率性・安定性を高めた高質なサービスの提供が求められている。また、物流の地方分散、環境負荷を軽減するためのモーダルシフトの実現を図るため、国内物流拠点の形成するための複合一貫輸送に対応した内貿ターミナルにも、定時性・安定性を高めた高質なサービスの提供が求められている。一方、外洋に面する全国各地の港湾より、大型船舶の長周期動揺による荷役稼働障害、係留船舶や係留施設の破損等の問題が報告されている。これは、産業の発展とともにコンテナ船などの船舶が大型化したため、船舶の固有周期が長周期化し、港内の長周期波と共振現象を起すためである。

このような背景のもと、港内の長周期波対策の必要性が高まり、ここ数年、各地の港湾で長周期波対策が検討されている。長周期波対策は、ソフト対策とハード対策に大きく分けられる。ソフト対策は、波浪推算により長周期波の来襲が予想するもので、安全性は向上するが荷役稼働率向上にはあまり寄与しない。ハード対策には、係留系の対策と構造物による対策が挙げられる。前者は係留設備を変更し動揺の固有周期を変えるため、専用岸壁など入港船舶が限定できる場合には有効な手法であるが、公共岸壁では多種多様な船舶に係留系の対応を行うのは困難な場合が多い。後者は、防波堤を沖に新設、延伸し長周期波の侵入防ぐ方法と、港内に消波構造物を設置する方法に大別される。

防波堤の新設による対策は、多大な費用がかかるためその費用対効果を良く検討し、他の工法との比較を十分に行う必要がある。通常波浪の消波は波長と同オーダーの構造物幅が必要と考えられており、数百 m 以上の波長を持つ長周期波の港内における消波は困難であると考えられてきた。最近の研究で、レキによる透水層と遊水室を合わせ持つ奥行幅が 50m 程度の対策構造物が開発されている。従来のレキのみの消波に比べ構造物幅は縮小され実用性は増したが、現状の航路や泊地を確保する必要のある水域面積の限られた既存の港湾に対する適応は難しい。

本研究では、長周期波が問題となっている既存の港湾に対しても適応可能な構造物幅を有する長周期波制御構造物の開発を行った。レキなど消波層を用いる手法では、さらなる構造物幅の縮小は困難なため、新たな消波メカニズム、すなわち渦励起型を採用した。渦を励起する構造にはスリットケーソンなどがあるが、長周期波に対しては励起される渦の大きさや強度が小さく、十分な消波性能を得られない。そこで、大きく強度の強い渦を発生させ長周期波を低減させる『渦励起型長周期波制御構造物』を提案した。本構造は、斜めにハの字に配した導水盤と背後の遊水室で構成される。長周期波が作用すると波を導水板奥へ集中させ、導水板間の狭い縦スリットから大きな渦を励起させる。本構造の有効性、現地適応性を確認するため、以下に示す 6 つの検討を行った。

1. 可視化実験による消波メカニズムの評価
2. 3次元数値シミュレーションによる波浪場の解析
3. 2次元水理模型実験による消波性能の評価
4. 構造形式別の消波性能の評価
5. 平面波浪場における消波性能、矩形港湾における波浪低減効果の評価
6. 長周期波を考慮した荷役稼働率の検討手法の検討

これらの検討の結果、導水板を用いた渦励起型長周期波制御構造物について以下の結論を得た。

可視化実験により、本構造はスリット部から噴流を発生させ、一対の大きな循環流を遊水室内に捕捉するとともに、乱れエネルギーに変換し消散することで、長周期波のエネルギーを低減することを確認した。3次元数値計算では、スリット壁よりも導水板を用いた構造で、スケールの大きな鉛直渦が構造物内だけでなく外にも生じるため消波性能が高いことが明らかにした。渦のスケールは周期が長いほど大きく、エネルギー散逸量も大きい。また、2次元水理模型実験で、既存の対策構造物の半分程度の構造物幅で、同等の性能を有することを確認し、既存の港湾へも適応性の高い構造であると評価した。また、消波性能は開口部幅、遊水部幅に依存するため、消波効果と構造物幅の関係から最適な形状を提案した。また、構造検討を行う際に消波性能を算定するための水理モデルを提案し、その有効性を確認し、計画段階において水理模型実験を行えない場合にも適切に効果を検討できる構造とした。実際に現地に適応する際に考えられる構造形式（重力式、鋼管矢板式、栈橋式など）に対しても有効な性能を発揮し、現地の設計条件、利用目的にあった構造形式が選択できることを確認した。平面水理模型実験で、斜め入射波に対しても消波性能を有すること、矩形港湾模型に構造物を設置し、長周期波による重複波浪場の低減効果があることを確認し、実港湾における適応性を評価した。ブシネスク方程式を用い本構造を他の対策工と同様にエネルギー吸収帯として再現することを試み、数値解析による再現性を確認した。これにより、一般的に実務で用いられている手法で、本構造の対策効果を評価できることを明らかにした。最後に、長周期波の影響や対策の効果の評価には、荷役稼働率が用いられるが、その評価法や評価指標の違いによる結果について比較検討を行い、長周期波を考慮した評価の重要性を確認した。

現地への適応性の高い、省スペース型の渦励起型長周期波制御構造物の開発を行い、設計施工まで考慮した幅広い用途に適応可能な最適形状を提案した。

学位論文審査の要旨

主 査	准教授	渡 部 靖 憲
副 査	教 授	山 下 俊 彦
副 査	教 授	清 水 康 行
副 査	教 授	泉 典 洋

学 位 論 文 題 名

渦励起型長周期波制御構造物の開発

急速に発展するアジア経済のなかで、海洋基本法施行のもと、海洋産業の振興および東アジアにおける我が国の港湾に対する国際競争力の強化の必要性が高まり、広範囲に渡る港湾に関わる新たな施策が検討されている。港湾機能の強化、制度や手続きの簡素化・迅速化を図り、海上物流サービスの改善が目標の一つに掲げられ、物流の効率性・安定性を高めた高質なサービスの提供が求められている。しかしながら、外洋に面する全国各地の港湾より、大型船舶の長周期動揺による荷役稼働障害、係留船舶や係留施設の破損等の問題が報告され、ここ数年、各地の港湾で長周期波対策が検討されている。

長周期波対策は、ソフト対策とハード対策に大きく分けられ、構造物によるハード対策には、防波堤を沖に新設・延伸し長周期波の侵入防ぐ方法と、港内に消波構造物を設置する方法が存在する。一般的な通常波浪の消波は波長と同オーダーの構造物幅が必要と考えられており、数百 m 以上の波長を持つ長周期波の港内における消波は困難であると考えられてきた。最近の研究で、レキによる透水層と遊水室を合わせ持つ対策構造物が開発されているが、奥行幅が 50m 程度と大型構造であるため、現状の航路や泊地を確保する必要のある水域面積の限られた既存の港湾に対する適応は難しい。

本研究では、長周期波問題を有する既存の港湾へも適応可能な構造物幅を有する長周期波制御構造物の開発を行った。レキなど消波層を用いる手法では、さらなる構造物幅の縮小は困難なため、長周期波制御にとって新たな消波メカニズムである渦励起型を採用した。風波制御のため渦を励起する構造にはスリットケーソンなどがあるが、長周期波に対しては励起される渦の大きさや強度が小さく、十分な消波性能を得られない。そこで、大きく強度の強い渦を発生させ長周期波を低減させる『渦励起型長周期波制御構造物』を提案した。本構造は、斜めにハの字に配した導水板と背後の遊水室で構成される。長周期波が作用すると波を導水板奥へ集中させ、導水板間の狭い縦スリットから大きな渦を励起させることで長周期波エネルギーを回転流れへと変換し減衰させる。本構造の有効性、現地適応性を確認するため、以下に示す 6 つの研究を行った。

- ①可視化実験による消波メカニズムの評価
- ② 3 次元数値シミュレーションによる波浪場の解析
- ③ 2 次元水理模型実験による消波性能の評価
- ④構造形式別の消波性能の評価

⑤平面波浪場における消波性能, 矩形港湾における波浪低減効果の評価

⑥荷役稼働率による長周期波対策効果の評価

これらの研究の結果, 以下の結論を得た.

可視化実験により, 本構造はスリット部から噴流を発生させ, 一對の大きな循環流を遊水室内に捕捉するとともに, 乱れエネルギーに変換し消散することで, 長周期波のエネルギーを低減することを明らかにした. 3次元数値計算では, スケールの大きな鉛直渦を構造物内だけでなく外にも生じさせ, 効率よくエネルギーを低減する構造であることを明らかにした. また, 渦のスケールは周期が長いほど大きく, エネルギー散逸量も大きい. 2次元水理模型実験では, 既存の対策構造物の半分程度の構造物幅で, 同等の性能を有することを明らかにし, 既存港湾への適応性を評価した. また, 消波性能は開口部幅, 遊水部幅に依存するため, 消波効果と構造物幅の関係から最適な形状を提案した. さらに, 構造検討を行う際に消波性能を算定するための水理モデルを提案し, その有効性を確認し, 計画段階において水理模型実験を行えない場合にも適切に効果を検討できる構造とした. 実際に現地に適応する際に考えられる構造形式 (重力式, 鋼管矢板式, 栈橋式など) に対しても有効な性能を発揮し, 現地の設計条件, 利用目的にあった構造形式が選択できることを明らかにした. 平面水理模型実験では, 斜め入射波や重複波浪場に対しても低減効果があることを明らかにし, 実港湾における適応性を評価した. ブシネスク方程式を用い, 本構造をエネルギー吸収帯として再現することを試み, 数値解析による平面波浪場における消波効果の再現性を評価し, 一般的に実務で用いられている手法により, 本構造の対策効果を評価できることを明らかにした. 最後に, 長周期波の影響や対策の効果の評価には荷役稼働率が用いられるが, 本構造を実港湾へ適応した際の効果を荷役稼働率で評価し, 港内静穏度を向上させる効果を明らかにした.

これを要するに, 著者は港湾における稼働障害の主要な原因である港内長周期波を低減させる新たな構造物である渦励起型長周期波制御構造物を提案し, 長周期波エネルギーの低減機構並びに水理パラメータに対する構造物性能を解明する共に, 設計施工まで考慮した性能評価手法を確立したものであり, 海岸工学, 港湾工学に寄与するところ大なるものがある.

よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める.