漁港における係留漁船の動揺に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、外洋に面した港湾において、港外で発生した長周期波が港内に侵入し、それによる荷役障害や係留設備の損傷の発生事例が数多く報告され、問題となっている。このような障害が発生する主たる原因は、船舶の係留系の固有周期が1～数分程度であり、港内に侵入した長周期波の周期と合致して共振現象を生じたことであることが最近の研究で明らかとなってきた。

一般に漁港は、港内の水面が狭く、特に港奥部で特定の周期に対して共振を起こしやすい港湾形状となっている場合が多い。したがって、荷役作業の稼働率を向上させるためには、漁港内における長周期波の特性を把握し、船体動揺との関連性を明らかにした上で、有効な荷役障害への対応策について研究することが不可欠となる。

そこで本研究は、漁港における係留漁船の動揺の実態をアンケート調査と現地観測により把握した上で、長周期波に対する荷役作業の利用可能率を求める手法を開発して荷役障害への対策方法を評価し、有効な対策方法を提案することを目的として実施した。

アンケート調査においては、北海道内の3,4種漁港24港を対象として漁業者にアンケートを実施し、係留船舶の動揺の実態について調査した。その結果、荷役障害の発生傾向は海域による波浪特性よりも周辺の地形や港形、係留方法などに依存しており隣接した漁港でも発生傾向が異なる場合があることがわかった。また、荷役障害や係留設備の被害の発生原因は長周期波である可能性が高いことが明らかとなった。

現地観測は、漁港内外での波浪観測と、係留漁船の動揺観測を実施した。

波浪観測においては、荷役障害の発生が予測されたA漁港と、アンケート調査で荷役障害の発生が確認された元稲府漁港の2港を対象として、漁港内外に波高計を設置して現地観測を実施した。その結果、港外の観測点においては、長周期波成分の波高は通常波成分の波高と周期を掛けた値と強い相関があり、この関係を用いれば長周期波の発生を推定できることが分かった。また、実測値との比較から、後述する緩勾配方程式による港内波高分布計算法によって、港内の周波数応答が計算できることを確認した。

動揺観測においては、アンケート調査で荷役障害の発生傾向が異なっていた砂原漁港と臼尻漁港を対象として、現地観測を実施した。動揺の観測方法として、画像解析法の一種である三次元PTV法を現地に適用し、船体上の多点の動揺観測データから船体重心位置での6自由度の運動を求めた。その

結果、動揺6成分のうち、ヒービング・ローリング・ピッチングについては港内波浪の短周期側のピークに対応した動揺成分のみがみられるが、サージング・スウェイング・ヨーイングについては港内波浪の長周期側のピークにも対応した動揺成分が見られ、そのエネルギーは短周期側よりも大きくなっていることが分かった。また、同時に実施した波浪観測結果より、砂原漁港では港内に侵入した長周期波に同調して動揺が起きているのに対し、臼尻漁港では港内の固有周期に同調して動揺が起きており、アンケート調査を裏付ける結果が得られた。

長周期波に対する荷役作業の利用可能率を求める手法の開発においては、港内の周波数応答を計算する手法の開発と、漁船の荷役限界条件に関する研究を行った。

港内の周波数応答を計算する手法としては、屈折・回折・多重反射を同時に考慮し、共振現象を含めた解析が可能な緩勾配方程式による港内波高分布計算法を開発した。開発においては、主として境界条件の取り扱いを工夫し、港口部における開境界条件では、入射波・反射波・散乱波の3成分を考慮して、港外に計算領域を広げることなく任意形状の主・副防波堤配置へ対応させた。また、港内壁面の固定境界条件ではエネルギー減衰帯により任意反射率を再現した。計算結果を、従来の計算結果および実験結果と比較したところ、概ね良い一致を示しており、本手法の妥当性を確認した。

漁船の荷役限界条件に関しては、アンケート調査を整理した結果、荷役限界動揺量は漁船の大きさ、海域特性、利用者の年齢などに依存して変化することが分かった。ただし、北海道内においては平均値に対する変動幅が小さいことから、20t未満の漁船に対してサージング： $\pm 0.5\text{m}$ 、スウェイング： $+0.5\text{m}$ 、ヒービング： $\pm 0.5\text{m}$ を設定した。設定した荷役限界動揺量に対応する荷役限界波浪条件について、一般的な係留条件を設定した船体動揺解析によって、船舶の大きさ・周期に応じた限界波高を求めた。

荷役障害への対策方法の検討では、元稲府漁港を対象として、漁港内の反射率を下げる方法と水域を広げて固有周期を変える方法に着目し、設定した荷役限界波高に対する長周期波の利用可能率を開発した手法により計算して、各対策方法の評価を行った。その結果、港内の水域を広げることが、最も有効な対策であることがわかった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 浩
副 査 教 授 藤 田 睦 博
副 査 教 授 長 谷 川 和 義
副 査 助 教 授 山 下 俊 彦

学 位 論 文 題 名

漁港における係留漁船の動揺に関する研究

近年、外洋に面した港湾において、港外で発生した長周期波が港内に侵入し、それによる荷役障害や係留設備の損傷の発生事例が数多く報告され、問題となっている。このような障害が発生する主たる原因は、船舶の係留系の固有周期が1～数分程度であり、港内に侵入した長周期波の周期と合致して共振現象を生じたことであることが最近の研究で明らかとなってきた。

一般に漁港は、港内の水域面積が狭く、特に港奥部で特定の周期に対して共振を起こしやすい港湾形状となっている場合が多い。したがって、荷役作業の稼働率を向上させるためには、漁港内における長周期波の特性を把握し、船体動揺との関連性を明らかにした上で、有効な荷役障害への対応策について研究することが不可欠となる。

そこで本研究は、漁港における係留漁船の動揺の実態を詳細なアンケート調査と現地観測により把握した上で、長周期波に対する荷役作業の利用可能率を求める手法を開発して荷役障害への対策方法を評価し、有効な対策方法を提案することを目的として実施したものである。

アンケート調査においては、北海道内の3,4種漁港24港を対象として漁業者にアンケートを実施し、係留船舶の動揺の実態について調査した。その結果、荷役障害の発生傾向は海域による波浪特性よりも周辺の地形や港形、係留方法などに依存しており、隣接した漁港でも発生傾向が異なる場合があることを明らかにした。また、荷役障害や係留設備の被害の発生原因は長周期波である可能性が高いことがも指摘した。

現地観測は、漁港内外での波浪観測と、係留漁船の動揺観測を実施した。

波浪観測においては、荷役障害の発生が予測されたA漁港と、アンケート調査で荷役障害の発生が確認された元稲府漁港の2港を対象として、漁港内外に波高計を設置して現地観測を実施した。その結果、港外の観測点においては、長周期波成分の波高は通常波成分の波高と周期を乗じた値と強い相関があり、この関係を用いることにより長周期波の発生を推定できることを明らかにした。また、実測値との比較

から、後述する緩勾配方程式による港内波高分布計算法によって、港内の周波数応答が計算できることを確認した。

動揺観測においては、近接する漁港でありながら、アンケート調査で荷役障害の発生傾向が異なっていた砂原漁港と臼尻漁港を対象として、現地観測を実施した。動揺の観測方法として、画像解析法の一環である三次元 PTV 法を現地に初めて適用し、船体上の多点の動揺観測データから船体重心位置での 6 自由度の運動を求めることに成功した。その結果、動揺 6 成分のうち、ヒービング・ローリング・ピッチングについては港内波浪の短周期側のピークに対応した動揺成分のみがみられるが、サージング・スウェーイング・ヨーイングについては港内波浪の長周期側のピークにも対応した動揺成分が見られ、そのエネルギーは短周期側よりも大きくなっていることを明らかにした。また、同時に実施した波浪観測結果より、砂原漁港では港内に侵入した長周期波に同調して動揺が起きているのに対し、臼尻漁港では港内の水域の固有周期に同調して動揺が起きており、アンケート調査を裏付ける結果を得た。

長周期波に対する荷役作業の利用可能率を求める手法の開発においては、港内の周波数応答を計算する手法の開発と、漁船の荷役限界条件に関する研究を行った。

港内の周波数応答を計算する手法としては、屈折・回折・多重反射を同時に考慮し、共振現象を含めた解析が可能な緩勾配方程式による港内波高分布計算法を開発した。開発においては、主として境界条件の取り扱いを工夫し、港口部における開境界条件では、入射波・反射波・散乱波の 3 成分を考慮して、港外に計算領域を広げることなく任意形状の主・副防波堤配置へ対応させた。また、港内壁面の固定境界条件ではエネルギー減衰帯により任意反射率を再現した。計算結果を、従来の計算結果および実験結果と比較し、概ね良い一致を示しており、本手法の妥当性を確認した。

漁船の荷役限界条件に関しては、アンケート調査を整理した結果、荷役限界動揺量は漁船の大きさ、海域特性、利用者の年齢などに依存して変化することを明らかにした。ただし、北海道内においては平均値に対する変動幅が小さいことから、20t 未満の漁船に対してサージング： $\pm 0.5\text{m}$ 、スウェーイング： $+0.5\text{m}$ 、ヒービング： $\pm 0.5\text{m}$ を設定した。設定した荷役限界動揺量に対応する荷役限界波浪条件について、一般的な係留条件を設定した船体動揺解析によって、船舶の大きさ・周期に応じた限界波高を求めた。

荷役障害への対策方法の検討では、元稲府漁港を対象として、漁港内の反射率を下げる方法と水域を広げて固有周期を変える方法に着目し、設定した荷役限界波高に対する長周期波の利用可能率を今回開発した手法により計算して、各対策方法の評価を行った。その結果、港内の水域を広げることが、最も有効な対策であることを明らかにした。

これを要するに、著者は、新しい船体動揺の実験手法と新たに開発した港内波浪計算法を用いて、漁港における係留漁船の動揺特性を港形、侵入する長周期波の観点から明らかにするとともに、詳細なアンケート結果を併用して、荷役限界波浪条件を明らかにしたもので、水産工学、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あるものと認める。