

学 位 論 文 題 名

漁港の港内擾乱メカニズムと港内静穏化に関する研究

学位論文内容の要旨

【はじめに】

近年、北海道内のみならず数多くの港湾・漁港において、副振動による港内擾乱が問題視されている。副振動は、港の形状に依存する固有振動周期と港内に入射する波浪に含まれる周期数十秒～数分程度の長周期成分が共振することで港内水面振動の振幅増大、及び水面振動の節にあたる箇所では流速の増大等が発生する現象である。副振動は“セイシュ”や“底うねり”とも呼称され、港の整備が進み、閉ざされた静穏な水域が出来上がるにつれこれらの現象が浮き彫りとなる、いわゆる“ハーバーパラドックス”はあまりにも有名な話である。

港湾・漁港において副振動による港内擾乱が問題となる理由として、船体動揺の発生による係留・荷役障害が挙げられる。港湾における副振動の発生に伴う荷役・係留障害に関する研究は多数なされており、一般的に港の固有振動周期と係留船舶の SURGE の固有周期が同調することで、船体動揺が大となり、係留・荷役障害が発生する事例が多い。

一方、漁港における研究事例は非常に少ない。漁港においては港湾と比較して利用船舶が非常に小さいことから、副振動に伴う振幅や流速の増大により船体動揺の 6 自由度モードや係留系の固有周期が互いに連成・同調して船体動揺が大となり、係留船舶の係留索の切断、及び係船柱の破損を引き起こす可能性がある。さらに船体動揺が大きくなることで、漁労準備作業や荷揚げ作業の効率低下や、船上で作業する漁業従事者の海中転落事故等を誘発する可能性があり、安全性の面からも重要な問題である。

このような背景から、本研究は漁港に來襲する波浪の“長周期波エネルギー”の特性を明らかにし、それに起因する副振動による“港内擾乱メカニズム”を解明する。さらに、港内静穏化を図る“港内擾乱対策”を検討し、“係留障害の発生”を抑制することで、漁船の安全な係留を確保し、漁業従事者が利用し易い港を創造することを目的とする。

【北海道沿岸の來襲波浪の特性】

港湾や漁港において副振動による港内擾乱が発生する要因は、來襲する波浪に含まれる長周期成分と、港の固有振動周期が同調・共振することによるものである。したがって、港に來襲する長周期波は副振動発生の起因力と言え、その特性を把握することは副振動による港内擾乱メカニズムを解明する第 1 歩である。

港に来襲する長周期波の発生要因に関する研究は多くの研究がなされているが、その発生要因は多様であり、長周期波を構成する気象性長周期波・拘束波・自由進行長波が、それぞれどの程度の割合で含まれているかは不明な点が多い。しかし、発生要因が多様かつ複雑であっても、来襲する波浪に含まれる“長周期波のエネルギー”は、港が位置する海域や周辺地形等により規定されていると考えられる。

このような背景から、北海道沿岸の日本海側、及び太平洋側に位置する全 9 港における港外波浪観測結果を基に、来襲する波浪に含まれる“長周期波のエネルギー”に着目した分析を行った。具体的には、港毎に来襲する波浪の“長周期波のエネルギー占有率 E_L ”を求め、北海道沿岸に来襲する波浪には常時約 1.0%の長周期波エネルギーを有すること、日本海側と比較して太平洋側の長周期波エネルギーがやや高い傾向を示すことを明らかにした。また、長周期波のエネルギー占有率 E_L を指標とした“長周期波の標準スペクトル”を提案し、現地の観測値を非常に良く近似できることを明らかにした。これらの分析により、港内擾乱の外力となる来襲波浪の特性を定量的な指標により示し得た。

【漁港の被災実態について】

漁港の副振動による係留障害の被災事例として、渡島半島南西部に位置する熊石漁港を対象に、被災発生箇所や時期、被災時の気象・海象について分析を行った。

その結果、係留障害に伴う船体損傷は年数回程度発生し、港奥の水域で最も発生しやすいことを明らかにした。また、被災は冬季に低気圧が日本海を通過した場合に発生する傾向が強く、来襲波浪が有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{m}$ 以上($=H_{1/3_lim}$)、長周期波高 $H_L=0.10\text{m}$ 以上($=H_{L_lim}$)の場合に被災が発生することを明らかにした。したがって、これらの分析から熊石漁港の被災発生時の気象・海象の特性を定量的に示すことができ、港内擾乱を引き起こす起因力を明らかにしたと言える。さらに、利用者が避難の可否を判断する方法の一つとして、IMOC の Web ページを利用した判断基準“ $H_{1/3}=2.0\text{m}$ 以上”を示すことができ、これが有効に活用されることを期待するものである。

【漁港の港内擾乱メカニズム】

漁港における港内擾乱メカニズムを明らかとすることを目的として、熊石漁港を対象として“現地観測”及び“数値計算”の両面から分析を行った。

“現地観測”に基づくメカニズムの分析は、“港内擾乱は港の固有振動周期と港内に伝播した長周期波の共振現象である”との仮定に基づき、統計解析手法として経験的固有関数法(EEM)を適用した港内水面振動の卓越周期の抽出、及び卓越周期帯の増幅率の算定を行った。その結果、港内擾乱時の水面振動の卓越周期が 100 秒～600 秒程度であること、上記の周期帯の振幅増幅率は 1.70 倍～4.06 倍となることを明らかにした。

一方、“数値計算”に基づくメカニズムの分析は、緩やか水深変化を許容する“緩勾配方程式”を基礎方程式とし、複雑な港形をモデル化可能な“有限要素法”を用いて解く手法により、熊石漁港の固有振動周期、共振周期、及び長周期波の振幅増幅率を求めた。その結果、熊石漁港の固有振動周期は現地観測で明らかになった水面振動の卓越周期と

一致すること、共振周期のピークはモード1～モード3の固有振動周期に対応すること、港奥の水域における長周期波の増幅率は約2.5倍となることを明らかにした。したがって、熊石漁港の港内擾乱メカニズムは、“港内に進入した長周期波”と“モード1～モード3の固有振動周期”が共振現象を引き起こし、長周期波の振幅が増幅することによるものであることがわかった。

また、港内に“岩礁及び通水部”を配置することは、長周期波の振幅増幅率を20%程度低減する効果があることを“現地観測”及び“数値計算”から明らかにし、港内擾乱対策として有効であることを示し得た。

【港内静穏化について】

“漁港の被災実態”、及び“漁港の港内擾乱メカニズム”の分析結果を踏まえ、漁港の港内静穏化に関して考察を行った。まず、過去の被災事例とメカニズムの分析結果から、港奥の水域において係留障害が発生する長周期波高の限界値“係留限界長周期波高 H_{LR_lim} ”は0.25mであることを明らかにした。また、“係留限界長周期波高 H_{LR_lim} ”を評価基準としてその発生頻度”係留障害発生率“を求めた結果、係留障害は”すけとうたら漁“の最盛期である冬季(12月～2月)に14.71%(冬季90日間のうち13日)の割合で発生することがわかった。

一方、港内擾乱対策として“岩礁及び通水部”を配置した場合の“係留障害発生率”を求めた結果、発生頻度の高い冬季において係留障害を8.31%(約7日間)抑制可能なことを明らかにした。したがって、長周期波の振幅増幅率を低減する“岩礁及び通水部”を配置することで、係留障害の発生を抑制、すなわち“港内静穏化”を図ることが可能なことを明らかにすることができた。

【おわりに】

本研究は“漁港の港内擾乱メカニズム”を被災実態、現地観測、及び数値計算から明らかにすることができた。また、係留障害の発生状況を、“係留障害発生率”により定量的に評価する手法を確立した。さらに、“港内静穏化”を図る具体的方法を示すことができた。

本研究の成果を、“漁船の安全な係留を確保し、漁業従事者が利用し易い港”造りに活用されれば幸甚である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 天下井 清
副 査 教 授 芳 村 康 男
副 査 助教授 木 村 暢 夫

学 位 論 文 題 名

漁港の港内擾乱メカニズムと港内静穏化に関する研究

数多くの港湾・漁港において、副振動による港内擾乱が問題視されている。港湾・漁港において副振動による港内擾乱が問題となる理由として、船体動揺の発生による係留・荷役障害が挙げられる。港湾における副振動の発生に伴う荷役・係留障害に関する研究は多数なされており、一般的に港の固有振動周期と係留船舶の SURGE の固有周期が同調することで、船体動揺が大となり、係留・荷役障害が発生する事例が多い。

一方、漁港における研究事例は非常に少ない。漁港においては港湾と比較して利用船舶が非常に小さいことから、副振動に伴う振幅や流速の増大により船体動揺の 6 自由度モードや係留系の固有周期が互いに連成・同調して船体動揺が大となり、係留船舶の係留索の切断、及び係船柱の破損を引き起こす可能性がある。さらに船体動揺が大きくなることで、漁労準備作業や荷揚作業の効率低下や、船上で作業する漁業従事者の海中転落事故等を誘発する可能性があり、安全性の面からも重要な問題である。

本研究は漁船の安全な係留を確保し、漁業者が利用し易い漁港を創造することを目的として、漁港に來襲する波浪の長周期波エネルギーの特性を明らかにし、それに起因する港内擾乱のメカニズムを解明することによって港内静穏化の対策を提案したものである。論文は以下の事項を明らかにした。

1. 北海道沿岸の來襲波浪の特性

北海道沿岸の日本海側、及び太平洋側に位置する全 9 港における港外波浪観測結果を基に、來襲する波浪に含まれる“長周期波のエネルギー”に着目した分析を行った。具体的には、港毎に來襲する波浪の“長周期波のエネルギー占有率 E_L ”を求め、北海道沿岸に來襲する波浪には常時約 1.0%の長周期波エネルギーを有すること、日本海側と比較して太平洋側の長周期波エネルギーがやや高い傾向を示すことを明らかにした。また、長周期波のエネルギー占有率 E_L を指標とした“長周期波の標準スペクトル”を提案し、港内擾乱の外力となる來襲波浪の特性を定量的な指標により示し得た。

2. 漁港の被災実態について

漁港の副振動による係留障害の被災事例として、渡島半島南西部に位置する熊石漁港を対象に、被災発生箇所や時期、被災時の気象・海象について分析を行った。その結果、係留障害に伴う船体損傷は年数回程度発生し、港奥の水域で最も発生しやすいことを明らかにした。また、被災は冬季に低気圧が日本海を通過した場合に発生する傾向が強く、来襲波浪が有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{m}$ 以上 ($=H_{1/3_lim}$)、長周期波高 $H_L=0.10\text{m}$ 以上 ($=H_{L_lim}$) の場合に被災が発生することを明らかにした。

3. 漁港の港内擾乱メカニズム

“現地観測”に基づき港内水面振動の卓越周期の抽出、及び卓越周期帯の増幅率の算定を行った。その結果、港内擾乱時の水面振動の卓越周期が 100 秒～600 秒程度であること、上記の周期帯の振幅増幅率は 1.70 倍～4.06 倍となることを明らかにした。一方、“数値計算”に基づくメカニズムの分析は、緩やか水深変化を許容する“緩勾配方程式”を基礎方程式とし、複雑な港形をモデル化可能な“有限要素法”を用いて解く手法により、熊石漁港の固有振動周期、共振周期及び長周期波の振幅増幅率を求め、熊石漁港の固有周期は現地観測で明らかになった水面振動の卓越周期と一致すること、共振周期のピークが固有振動周期に対応すること、港奥の水域における長周期波の増幅率は約 2.5 倍となることを明らかとした。従って熊石漁港の港内擾乱は港内に進入した長周期波と漁港の固有振動周期が共振現象を引き起こし、長周期波の振幅が増幅することによって発生するというメカニズムを明らかにした。

4. 港内静穏化について

以上の結果を踏まえて港内擾乱対策として港内に岩礁及び通水部を配置した実験により、長周期波の振幅増幅率を低減する岩礁及び通水部を配置することで港内の静穏化が実現可能なことを提案した。

以上の研究の成果は安全な漁港を設計、建設する際に前もって漁港の評価システムとしての利用が期待できる実用性の高い、優れたものである。よって審査員一同は、本論文が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。