OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	リアルタイム応答計測と数値モデルに基づいた波浪中船体の構造安全性モニタリング手法の開発
Author(s)	小森山, 祐輔
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92961
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　小　森　山　祐　輔　）	
論文題名	リアルタイム応答計測と数値モデルに基づいた波浪中船体の構造安全性モニタリング手法の開発

論文内容の要旨

近年，船舶の自動運航を見据えた運航支援に関する技術開発が注目されている．運航支援の方法のひとつとして，船体の折損のような重大事故を防止する観点から，構造安全性を考慮して最適航路を選定することが考えられる．ここで，船体応力を計測・監視する，ハルモニタリングシステムとして知られるシステムを用いれば，運航中の船体構造応答が把握できる．しかし，現行のシステムでは，センサの設置費用の都合上，計測点数が限られ，船体全体の状態を把握することができない．そこで，船体応答の計測データから遭遇波時刻歴を同定可能なカルマンフィルタを用いる方法（以後Wave Kalman Filter, WKF法）の利用が有望視される．本研究では，WKF法で得られた遭遇波時刻歴から非計測の波浪荷重や応答を推定することで，数点のリアルタイム計測情報から船体全体の構造安全性を直ちに把握できるような手法の開発を目的とした．開発手法の有効性は水槽試験により確認した．

本論文は，以下の1章～8章で構成される．

第1章では，本研究の着想に至った社会的背景と関連する技術や先行研究の状況を整理し，新たな構造安全性モニタリング手法に必要な機能と，本研究で開発および検証する内容を示した．

第2章では，WKF法の定式化と計算アルゴリズムを示した．WKF法では，波を成分波の重ね合わせで表現し，成分波の係数を状態量として線形カルマンフィルタを適用した．短波頂不規則波中の遭遇波時刻歴を同定する際には，同じ波周波数の元で複数の波向きの成分波の重ね合わせを用いるdouble summationモデルを採用した．この方向波スペクトルを求める際に，同じ波周波数の成分波同士が干渉する問題を解決するため，干渉成分を考慮可能な方向波スペクトルの算出方法を新たに開発した．

第3章では，船体の構造安全性を把握するために考慮すべき強度と荷重について整理し，WKF法により推定される非計測の波浪荷重ならび応答を基に，構造安全性を即時にモニタリング可能な手法を開発した．ここでは，WKF法で得られる船体縦曲げモーメントと水平曲げモーメントの複合荷重をスカラー値の状態量で表現し，この状態量の極値の確率密度関数をワイブル分布のフィッティングにより求め，その確率密度関数から求められる破損確率によって構造安全性を定量化し，これにより船体構造全体の構造安全性をモニタリングすることを可能とした．

第4章では，上記手法を検証するための水槽試験について，アクリル製弾性模型船の設計および製作，計測方法，試験条件を示した．本実験ではFiber Bragg Gratings (FBGs)を用い，圧力多点計測を行った．自由表面位置を考慮して，計測された水圧を補間し，接水表面全体の水圧分布を推定し，その水圧分布と慣性力を構造モデルに負荷することで，任意断面での船体縦曲げモーメントと水平曲げモーメントの実験値を評価する手法を開発した．

第5章では，長波頂不規則波中の水槽試験結果を用いて，第2章に示したWKF法を検証した．WKF法により遭遇波時刻歴と非計測の船体応答を推定可能であること，応答関数の振幅が小さい波周波数領域で推定精度が悪化すること，相互に補完するような複数の船体応答をWKF法で用いることで推定精度を改善できることを実証した．

第6章では，短波頂不規則波中の水槽試験結果を用いて，第2章に示したWKF法を検証した．船体運動と船体応力を組み合わせてWKF法を適用することで，波向きも含めて遭遇波時刻歴を良好な精度で同定可能であること，推定する非計測応答と相対的に相関が高い応答をWKF法で用いることで非計測応答の推定精度が保証されることを示した．

第7章では，水槽試験結果を用いて，第3章で提案した構造安全性モニタリング手法を実証した．具体的には，WKF法で推定された遭遇波に応答関数を組み合わせ，任意断面位置での船体縦曲げモーメントと水平曲げモーメントの時刻歴を推定し，そこから得られる複合荷重の極値に対して確率密度関数を求め，次いで破損確率を評価した．これと第4章で示した手法で評価された船体縦曲げモーメントと水平曲げモーメントから直接的に得られる破損確率とを比較した．本システムで評価される破損確率は十分な精度を有することを示した．

第8章では，本研究で得られた研究成果を総括し，最後に将来の研究の展望について纏めて結論とした．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　小森山　祐輔　）		
論文審査担当者	（職）		氏　名
	主 査	教授	飯島　一博
	副 査	教授	大沢　直樹
	副 査	准教授	澤村　淳司

論文審査の結果の要旨

近年，将来の船舶の運航効率化や自動運航を見据え，運航支援に関する技術開発が注目されている．運航支援のひとつとして，船体の折損のような重大事故を防止する観点から，構造安全性を考慮して最適航路を選定することが考えられる．ここで，船体応力を計測・監視する，ハルモニタリングシステムとして知られるシステムを用いれば，運航中の船体構造応答が把握できる．しかし，現行のシステムでは，センサの設置費用の制約から，計測点数が限られ，船体全体の状態を把握することができない．そこで，船体応答の計測データから遭遇波時刻歴を同定可能なカルマンフィルタを用いる方法（以後 Wave Kalman Filter，WKF 法）の利用が有望視されている．本研究では，WKF 法で得られた遭遇波時刻歴から非計測の波浪荷重や応答を推定することで，数点のリアルタイム計測情報から船体全体の構造安全性を直ちに把握できるような手法の開発を目的としている．

本論文は，以上の研究背景と目的を論じた 1 章を含め，全 8 章で構成されている．

第 2 章では，WKF 法の定式化と計算アルゴリズムを論じている．WKF 法では，波を成分波の重ね合わせで表現し，成分波の係数を状態量として線形カルマンフィルタを適用する．短波頂不規則波中の遭遇波時刻歴を同定する際には，同じ波周波数に対して，複数の波向きの成分波の重ね合わせを用いる double summation モデルを採用し，同じ波周波数の成分波同士が干渉を考慮可能な方向波スペクトルの算出方法を新たに開発している．

第 3 章では，船体の構造安全性を把握するために考慮すべき強度と荷重について整理し，WKF 法により推定される非計測の波浪荷重ならび応答を基に，構造安全性を即時にモニタリング可能な手法を開発している．WKF 法で得られる船体縦曲げモーメントと水平曲げモーメントの複合荷重をスカラー値の状態量で表現し，この状態量の極値の確率密度関数をワイブル分布のフィッティングにより求め，その確率密度関数から求められる破損確率によって構造安全性を定量化し，これにより船体構造全体の構造安全性をモニタリングする手法を提案している．

第 4 章では，上記手法を検証するための水槽試験について，アクリル製弾性模型船の設計および製作，計測方法，試験条件を示している．本実験では Fiber Bragg Gratings (FBGs)を用い，圧力多点計測を行っており，自由表面位置を考慮して，計測された水圧を補間し，接水表面全体の水圧分布を推定し，その水圧分布と慣性力を構造モデルに負荷することで，任意断面での船体縦曲げモーメントと水平曲げモーメントの実験値を評価する手法を開発している．

第 5 章では，長波頂不規則波中の水槽試験結果を用いて，第 2 章に示される WKF 法を検証している．

第 6 章では，短波頂不規則波中の水槽試験結果を用いて，第 2 章に示される WKF 法を検証している．提案された手法により，波向きも含めて遭遇波時刻歴を良好な精度で同定可能であること，推定する非計測応答と相対的に相関が高い応答を WKF 法の観測情報として用いることで，非計測応答の推定精度が十分に保たれることを示している．

第 7 章では，水槽試験結果を用いて，第 3 章で提案した構造安全性モニタリング手法の実証を行い，提案手法の有用性を示している．

第 8 章では，本研究で得られた研究成果を総括し，最後に将来の研究の展望について纏めて結論としている．

以上より，本論文は計測とシミュレーションを融合させた，船舶運航時の構造安全性モニタリングのための新たな手法を提案し，模型試験により有効性を確認している．船舶性能評価などの他領域への拡張も期待され，船舶海洋工学全般に裨益するところが大といえる．

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める．