



Title	Study on Estimation of Added Mass and Damping Coefficients of a Ship Using Data Assimilation Method
Author(s)	花木, 孝明
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/91952
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (花 木 孝 明)	
論文題名	Study on Estimation of Added Mass and Damping Coefficients of a Ship Using Data Assimilation Method (データ同化手法を用いた船体の付加質量と減衰力係数の推定に関する研究)
論文内容の要旨 波浪中を航行する船舶の剛体 6 自由度運動を正確に予測することは性能評価や安全運航にとって重要である。一般に、波浪と船体運動の関係は運動方程式によって記述される。これまで運動方程式の係数である付加質量と減衰力係数はポテンシャル理論や数値流体力学で求められ、水槽試験によって緻密に検証されてきた。ところが理論と実現象の間には、未だにモデル化に起因する誤差がある。また実際の多様な運航条件を考慮し網羅的に性能を計算しておくことは現実的でない。一方、数値計算で求めた基本的な性能をベースとして、船上で計測されるデータの有効活用により多様な運航条件での性能をカバーすることは実用的であるが、モデルと計測データから船体の運動性能を評価する統一的な手法は現状ない。例えば機械学習とインパルス応答を組み合わせた船体運動の予測手法などもあるが、システム内部がブラックボックスであるという点で、物理的な考察が困難である。 以上を踏まえ、本研究では運動方程式に基づき自己組織化型状態空間モデルを実現し、データ同化手法を用いた船体の付加質量と減衰力係数の推定手法の開発に取り組んだ。 以下に、各章の概要を示す。 第1章では、本研究の背景、関連する従来研究事例を示し、本研究の実施内容と目的を示した。 第2章では、時間領域における船体運動シミュレーションモデルの定式化を行った。シミュレーションモデルは二次元ポテンシャル理論に基づく Improved New Strip Method による周波数解析で得られる。このモデルによるシミュレーション結果と規則波中および不規則波中動揺計測試験結果を比較し、定式化したシミュレーションモデルの妥当性を検討した。同時に、上下揺れおよび縦揺れの同調周波数付近において、従来の計算と試験結果の間にモデル化に起因する誤差があることを再確認した。 第3章では、シミュレーションモデルの状態空間表現を導出した。運動方程式中の畳み込み積分を可観測正準形の状態空間モデルで置き換えることで、運動方程式を連立一階線形微分方程式で表現した。結果として、シミュレーションモデルは状態空間モデルとして実現され、次章で述べるアンサンブルカルマンフィルタの適用が可能となる。状態空間モデルの同定にはニュートン-ラフソン法を用い、同定したモデルが Improved New Strip Method による理論値に一致することを示した。 第4章では、付加質量と減衰力係数の推定手法について示した。まず前節で同定した状態空間モデルのパラメータを状態変数に追加し、モデルの自己組織化を行った。次にデータ同化で広く用いられる状態推定手法であるアンサンブルカルマンフィルタの概略について述べ、これを用いた付加質量と減衰力係数の推定アルゴリズムを示した。このときモデルの入力である波浪強制力と出力である船体運動の時系列データを用いる通常のフィルタアプローチと、モデルの出力である船体運動のみを用いるデュアルフィルタアプローチを提案した。 第5章では、不規則波中動揺計測試験で計測された波変位と船体の動揺変位の時刻歴を用いて提案するパラメータ推定手法を検証した。検証は三つのパートに分けられる。第一は、二次元問題において船体の動揺変位の時刻歴のみを用い、デュアルフィルタアプローチの有効性を検討したものである。上下揺れのみを対象としてパラメータの推定を行った結果、推定した付加質量と減衰力係数は従来の試験結果とよく一致した。第二と第三は三次元問題において波変位と動揺変位の時刻歴の両方を用い、通常のフィルタアプローチの有効性を検討したものである。まず向い波中での船体 2 自由度（上下揺れと縦揺れ）を対象としてパラメータの推定を実施したところ、同化手法を用いて更新したモデルは縦揺れの同調周波数で従来の試験結果と乖離した。次に前後揺れを加えた 3 自由度を対象としてパラメータの推定を実施したところ、モデルはすべての動揺モードで従来の試験結果とよく一致した。これらの検証は、ばら積み貨物船とコンテナ船の二船型で行われ、提案手法の有効性が示された。 第6章では、本研究で得られた成果をまとめた。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (花木 孝明)		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主 査 准教授	箕浦 宗彦
	副 査 教授	梅田 直哉
	副 査 教授	鈴木 博善

論文審査の結果の要旨

波浪中を航行する船舶の剛体 6 自由度運動を正確に予測することは性能評価や安全運航にとって重要である。これまで、波浪中の船体運動を記述する運動方程式の付加質量と減衰力係数は、ポテンシャル理論や数値流体力学で求められ、実験水槽での模型試験によって検証されてきた。ところが理論と実現象の間には、モデル化に起因する誤差がある。また、実際の多様な運航条件に対して網羅的に性能を計算しておくことも現実的でない。一方、数値計算で求めた基本的な性能をベースとして、船上で計測されるデータの有効活用により多様な運航条件での性能をカバーすることは実用的であるが、モデルと計測データから船体の運動性能を評価する統一的な手法は現状ない。例えば機械学習とインパルス応答を組み合わせた船体運動の予測手法などもあるが、システム内部がブラックボックスであるという点で、物理的な考察が困難である。以上を踏まえ、本論文では運動方程式に基づき自己組織化型状態空間モデルを実現し、データ同化手法を用いた船体の付加質量と減衰力係数の推定手法の開発に取り組んでいる。その内容を論文の章ごとにまとめると次の通りである。

第 1 章では、本研究の背景、関連する従来研究事例を示し、本研究の実施内容と目的を示している。

第 2 章では、時間領域における船体運動シミュレーションモデルの定式化を行っている。シミュレーションモデルは二次元ポテンシャル理論に基づく **Improved New Strip Method** による周波数解析で得られる。このモデルによるシミュレーション結果と規則波中および不規則波中動揺計測試験結果を比較し、定式化したシミュレーションモデルの妥当性を検討している。同時に、上下揺れおよび縦揺れの同調周波数付近において、従来の計算と試験結果の間にモデル化に起因する誤差があることを示している。

第 3 章では、シミュレーションモデルの状態空間表現を導出している。運動方程式中の畳み込み積分を可観測正準形の状態空間モデルで置き換えることで、運動方程式を連立一階線形微分方程式で表現している。結果として、シミュレーションモデルは状態空間モデルとして実現され、アンサンブルカルマンフィルタの適用が可能となる。状態空間モデルの同定にはニュートン-ラフソン法を用い、同定したモデルが **Improved New Strip Method** による理論値に一致することを示している。

第 4 章では、周波数依存する付加質量と減衰力係数の推定手法について示している。まず前節で同定した状態空間モデルのパラメータを状態変数に追加し、モデルの自己組織化を行っている。次にデータ同化で広く用いられる状態推定手法であるアンサンブルカルマンフィルタの概略について述べ、これを用いた付加質量と減衰力係数の推定アルゴリズムを示している。この結果を踏まえて、モデルの入力である波浪強制力と出力である船体運動の時系列データを用いる通常のフィルタアプローチと、モデルの出力である船体運動のみを用いるデュアルフィルタアプローチを提案している。

第 5 章では、不規則波中動揺計測試験で計測された波変位と船体の動揺変位の時刻歴を用いて提案するパラメータ推定手法を検証している。検証は三つのパートに分けられる。第一は、二次元問題において船体の動揺変位の時刻歴のみを用い、デュアルフィルタアプローチの有効性を検討したものである。上下揺れのみを対象としたパラメータ推定の結果は、推定した付加質量と減衰力係数は従来の試験結果をよく説明している。第二と第三は三次元問題において波変位と動揺変位の時刻歴の両方を用い、通常のフィルタアプローチの有効性を検討したものである。向い波中での船体 2 自由度（上下揺れと縦揺れ）を対象としたパラメータ推定の結果は、同化手法を用いて更新したモデルは縦揺れの同調周波数で従来の試験結果と乖離することを示している。前後揺れを加えた 3 自由度を対象としたパラメータ推定の結

果は、モデルはすべての動揺モードで従来の試験結果とよく一致することを示している。これらの検証は、ばら積み貨物船とコンテナ船の二船型で行われ、提案手法の有効性を示している。

第6章は、本研究で得られた成果のまとめである。

以上のように、本論文では実海域を想定した不規則波中を前進する船体運動の情報だけからその運動特性を表す付加質量と減衰力係数を同定するための新しい自己組織化型状態空間モデルの実現を説明し、それに基づいた解析手法を提案し、さらにその有効性を数値計算と水槽実験により詳細に示しているという点で、工学的に新規性・有用性が高い。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。