

学 位 論 文 題 名

箱形浮体構造物の付加質量・付加慣性モーメントの
早見チャート作成に関する研究

学位論文内容の要旨

緒 言

船舶の運動性能は運行の安全面からも非常に重要であり、初期設計段階から完成時の運動性能を推定する必要がある。近年、貨物船やカーフェリーなどの大型化や肥大化、さらに高速化が進んでいるが、なかでも大型化、肥大化は船舶の操船性能に大きく影響し、衝突や座礁、転覆などの危険性を高めてしまう可能性がある。このことから船舶の運動性能を的確に推定する方法が必要である。推定法の取り組みは古くは模型船を使用した実験から始まり、計測された流体力を用いて操縦性能を推定する数学モデルへと発展して来た。操縦性能を推定するこの数学モデルには対象とする船舶固有の流体力係数値がいくつか必要になる。それらの中で特に重要な一つに加速運動時に働き加速抵抗に関与する付加質量、付加慣性モーメントがある。付加質量、付加慣性モーメントは流体中を加減速運動する物体においてその質量があたかも増加したような現象として現れる。密度の大きい水などの流体中では付加質量が空気中の約 800 倍もの大きさに現れ、空気中の物体運動と大きく異なる性質を持つことがよく知られている。船舶の設計や運動を考える時には付加質量、付加慣性モーメントは船舶の運動に大きく影響してくるので十分考慮する必要がある。しかし付加質量、付加慣性モーメントの影響は加速運動状態でのみ現れるため、その測定法には特別な実験を必要とし、現実にも精密な測定が困難である。

一方、烏野らが提唱する理想流体力を基礎とした成分分離型の数学モデル

では定常運動に於いて理想流体力は斜航中のヨーモーメントにムンクモーメント $(m_x - m_y) \cdot u \cdot v$ として大きく働き、また旋回流体力の前後力及び横力に $(m_y \cdot v \cdot r)$ と $(-m_x \cdot u \cdot r)$ の遠心力として働く。成分分離のために定常流体力から粘性流体力を抽出する際に正確な付加質量 m_x 、 m_y が必要になる。

今日、付加質量及び付加慣性モーメントを知る方法として「元良チャート」が簡便で実用的な手段として広く使用されている。「元良チャート」は一般商船など細長い船型($L/B=4\sim 11, C_b=0.4\sim 0.8$)を対象としている。一方、海洋土木工事などの関係からバージ運搬船など箱形に近い海洋構造物を曳航する機会が近年多くなっているが、商船船型からはずれた漁船や海洋構造物等の付加質量、付加慣性モーメントに関する研究は皆無の状態といえる。これら箱形に近い海洋構造物が海上移動する際に働く流体力に関する研究は少なく、これら構造物の流体力を推定するにはその正確な付加質量及び付加慣性モーメントを必要とする。

本研究の目的

本研究の端緒は箱形構造物の模型を使い定加速度実験、定角加速度実験を行って、付加質量及び付加慣性モーメントを測定した結果、ともに「元良チャート」を外挿した値と異なる結果を得たことにある。本研究はこの点に着目して海洋構造物設計のために箱型構造物の付加質量及び付加慣性モーメントの簡易推定チャート作成を目指した。

チャート作成にあたり、本論文では付加質量及び付加慣性モーメントを求める手段に模型実験とポテンシャル理論計算を採用した。模型実験は実流体中での運動を再現する方法であるが、本研究のように実験解析に耐えられる加速度運動を行うには特別な設備と精度良い実験手法を要する。

- 1) 模型実験には付加質量を求める定加速度実験と、付加慣性モーメントを求める定角加速度実験を行った。
- 2) 供試模型に $L/B=2, 4, 6$ の大型箱形模型船 3 隻と $L/B=4, 6$ の小型箱形模

型船を使用した。

- 3) 一方、実在流体中の模型実験に対し理論計算は無限理想流体中の運動を想定したポテンシャル計算を行った。

以上より箱型浮体構造物を対象とし理論計算から付加質量及び付加慣性モーメントを求めた結果は模型実験結果と良く一致した。ここで理論計算の推定精度が確認できたので、本研究ではチャート作成に必要とする広範囲の構造物形状に対する理論計算から付加質量及び付加慣性モーメントを求めた。対象とする箱型浮体構造物はその特殊な形状から独自のチャート作成が考えられ、無次元化の手法とも合わせて箱型浮体構造物のみを対象とした早見チャートの作成を試みた。

付加質量早見チャート

箱型浮体構造物は全ての断面形状が長方形であり2辺のアスペクト比で表現できるという構造的特徴を持っている。また、運動方向に垂直な面の形状は付加質量に大きな影響を与えるので、箱型浮体構造物の付加質量を無次元化するとき船長 L （奥行き長さ）よりも運動方向垂直面の船幅 B 及び喫水 d を用いる方が構造物に対する影響を適切に表現できると考える。

箱型浮体構造物の運動方向垂直面が付加質量に多大な影響を与えることから本研究では前後(surge)、左右(sway)の運動方向に係わらず、運動方向垂直面を用いた無次元化を行い、以下の手法を用いて2つの早見チャートを作成した。

- (1) 付加質量が運動方向垂直面より大きい影響を受けるから付加質量 m_x 、 m_y の大きな量的違いは船幅 B と船長 L の違いである。このことから運動方向垂直面の幅と同じだけの奥行きを持つ仮想構造物の排水質量で無次元化する。
- (2) 運動方向垂直面は船幅 B と喫水 $2d$ で表されるが両者が入れ替わっても運動方向垂直面面積に変化はなく、付加質量も変わらない。このことを利用して運動方向垂直面を構成する要素 B 、 $2d$ を大小で区別し

て上記とは異なるより小さい仮想構造物の排水質量で無次元化する。

付加慣性モーメント早見チャート

付加慣性モーメントの大きさを感覚的に把握できる尺度は慣動半径である。これを長さで無次元化する手法を採用する。箱型浮体構造物を対象とした場合、船長 L と船幅 B が入れ替わっても付加慣性モーメントに違いが生じない上に、船長 L （奥行き長さ）と船幅 B （運動方向垂直面の幅）が同じ値に近い構造物もある。このような場合でも慣動半径の無次元化を合理的に行う必要があり、本研究では箱型構造物の対角線長さをを用いた無次元慣動半径を採用することで対応した。

結 言

- (1) 箱型浮体構造物の付加質量及び付加慣性モーメントを対象とし模型実験精度の向上及び解析精度の向上を計った模型実験結果と理論計算結果を比較した。その結果は良く一致した。
- (2) 箱型浮体構造物の付加質量早見チャートについて
 - ・理論計算により無限理想流体中での加速運動状態の付加質量を図表化した。
 - ・横断面の寸法比及び水平断面の寸法比を用いてあらゆる箱形構造物の付加質量を表した。
 - ・箱型浮体構造物の構造的特徴と付加質量の新たな無次元化式を導入して、付加質量早見チャートを作成した。
 - ・3次元影響及び奥行き影響をチャート上で表現することができた。
- (3) 箱型浮体構造物の付加慣性モーメント早見チャートについて
 - ・理論計算により無限理想流体中での角加速運動状態の付加慣性モーメントを図表化した。
 - ・横断面の寸法比及び水平断面の寸法比を用いてあらゆる箱形構造物の付加慣性モーメントを表した。

- ・箱型浮体構造物の付加慣性モーメントを長さ L 、幅 B を考慮した無次元慣動半径を導入して付加慣性モーメント早見チャートを作成した。
- ・3次元影響及び奥行き影響をチャート上で表現することができた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	烏野慶一
副査	教授	天下井清
副査	教授	芳村康男
副査	助教授	蛇沼俊二

学位論文題名

箱形浮体構造物の付加質量・付加慣性モーメントの 早見チャート作成に関する研究

船舶の運動性能は運行の安全面からも非常に重要であり、初期設計段階から完成時の運動性能を推定する必要がある。推定法の取り組みは古くは模型船を使用した実験から始まり、計測された流体力を用いて操縦性能を推定する数学モデルへと発展して来た。操縦性能を推定するこの数学モデルには対象とする船舶固有の流体力係数値がいくつか必要になる。それらの中で特に重要な一つに加速運動時に働き加速抵抗に関与する付加質量、付加慣性モーメントがある。付加質量、付加慣性モーメントは流体中を加減速運動する物体においてその質量があたかも増加したような現象として現れる。密度の大きい水などの流体中では付加質量が空気中の約 800 倍もの大きさに現れ、空気中の物体運動と大きく異なる性質を持つことがよく知られている。特に前後進を頻繁に繰返す操業時の漁船などの船体運動を考える時には付加質量、付加慣性モーメントは船舶の運動に大きく影響してくるので重要である。しかし付加質量、付加慣性モーメントの影響は加減速運動状態で主として現れるため、その測定法には特別な実験を必要とし、現実にも精密な測定が困難である。

今日、付加質量及び付加慣性モーメントを知る方法として「元良チャート」

が簡便で実用的な手段として広く使用されている。一方、海洋土木工事などの関係からバージ運搬船など箱型に近い海洋構造物を曳航する機会が近年多くなっているが、商船船型からはずれた漁船や海洋構造物等の付加質量、付加慣性モーメントに関する研究は皆無の状態といえる。これら箱型に近い海洋構造物が海上移動する際に働く流体力に関する研究は少なく、これら構造物の流体力や運動を推定するにはその正確な付加質量及び付加慣性モーメントを必要とする。

本研究の端緒は箱型構造物の模型を使い定加速度実験、定角加速度実験を行って、付加質量及び付加慣性モーメントを測定した結果、ともに「元良チャート」を外挿した値と異なる結果を得たことにある。本研究はこの点に着目して海洋構造物設計のために箱型構造物の付加質量及び付加慣性モーメントの推定チャート作成を目指した。チャート作成にあたり、本研究では付加質量及び付加慣性モーメントを求める手段に模型実験とポテンシャル理論計算を採用した。また、模型実験は実流体中での運動を再現する方法であるが、本研究のように実験解析に十分耐え得る加速度運動を行うには特別な設備と精度良い実験手法を要し、それらの開発を行っている。

研究結果は箱型浮体構造物の付加質量と付加慣性モーメントを対象とした理論計算と模型実験結果とは良く一致した。ここで理論計算による推定精度が確認できたので、早見チャート作成に要する広範囲の構造物形状の付加質量と付加慣性モーメントを理論計算によって求めた。対象とする箱型浮体構造物はその特殊な形状から固有の無次元化の手法と早見チャートの作成を行った。研究成果を以下にまとめる。

(1) 箱型浮体構造物の付加質量及び付加慣性モーメントを対象とした模型実験の精度の向上と解析精度の向上を計り、実験結果とポテンシャル理論計算結果を比較した。その結果は加速運動状態の付加質量及び付加慣性モーメントで良く一致した。

(2) 箱型浮体構造物の付加質量早見チャートについて

- ・理論計算によりあらゆる箱型構造物の付加質量を求めた。

- ・箱型構造物の横断面の寸法比及び水平断面の寸法比に対する新たな無次元付加質量を表した。
- ・箱型浮体構造物の形状的特徴と新たな無次元付加質量を導入して、付加質量早見チャートを作成した。
- ・ 3次元影響及び奥行き影響を早見チャート上で表現することができた。

(3) 箱型浮体構造物の付加慣性モーメント早見チャートについて

- ・理論計算によりあらゆる箱型構造物の付加慣性モーメントを求めた。
- ・箱型構造物の横断面の寸法比及び水平断面の寸法比に対する無次元付加慣性モーメントを表した。
- ・箱型浮体構造物の形状的特徴と長さ L 、幅 B を考慮した無次元慣動半径を導入して、付加慣性モーメント早見チャートを作成した。
- ・ 3次元影響及び奥行き影響をチャート上で表現することができた。

以上大略した3点の成果を得るにあたって開発された実験方法、実験装置、付加質量及び付加慣性モーメント早見チャートは、船舶工学分野、流体力学分野及び水産工学分野での広い応用性と共に、またその独創性について高く評価するものである。よって審査員一同は、申請者が博士（水産科学）の学位を授与される資格の有るものと判定した。