

氏 名	齋 藤 年 正
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 60 年 3 月 13 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 47 年 3 月 東北大学大学院工学研究科機械工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	船用推進軸系の動的挙動に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 阿部 博之 東北大学教授 西山 哲男 東北大学教授 渥美 光 東北大学教授 谷 順二 東北大学助教授 長南 征二

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

船用推進軸系装置は機関で発生する回転動力を推力へ変換する重要な機能を有しているため、本装置に損傷事故が発生すると船舶は停止を余儀なくされ、場合によっては危険な状態となる。したがって推進軸系装置にはいかなる損傷事故も発生しない高度な安全性と信頼性が要求される。このため推進軸、船尾管軸受、シール装置などの推進軸系装置全般について、合理的な設計法を確立する必要が生じてきた。

損傷事故の大半は船舶の航走中に発生するため、その原因を究明するためには運転中における推進軸の動的挙動を明らかにしなければならない。そのため本論文は船用推進軸系装置を研究対象に取上げ、その動的挙動を明らかにする解析法を確立し、推進軸系装置の安全性ならびに信頼性の向上を図ることを目的としている。

船用推進軸系の動的挙動を明らかにするためには、任意の運転条件に対する軸の動的アライメント解析法と、軸の横振動解析法を確立しなければならない。動的アライメント解析法を確立するためには、船尾管軸受内の軸の実際状態を考慮できる油膜の静特性解析法を確立する必要がある。また軸の横振動解析法を確立するためには、推進軸を支える船尾管軸受油膜の動特性解析法の確立と、

動特性の一般的特徴を明らかにすることが重要な課題となる。

推進軸系がボッシングなどのような比較的柔な構造物で支持されている場合には、推進軸系と支持構造物の連成を考慮した横振動解析法の確立と、さらに支持構造物の振動特性の解明が必要である。

以上に示した各課題が解決されたならば、最終的には動的アライメントの最適化と横振動の防振対策を示し、その設計指針を明らかにしなければならない。

本研究は船用推進軸系の動的挙動を明らかにし、推進軸系装置の安全性ならびに信頼性を高めるために、上記各課題に対する解析法の確立を図ったものである。

## 第 2 章 軸受油膜の静特性

船用推進軸系の動的アライメント解析には、船尾管軸受油膜の静特性を必要とする。船尾管軸受内の推進軸は運転中にプロペラ・フォースの影響を受けるために、軸は軸受内でたわむと同時に片あたりとなる。したがって正確な油膜特性を得るためには、軸のたわみと片あたりを考慮しなければならない。そのため本章ではこのような課題を解決できる解析法の確立を試みた。

本解析では基礎となるレイノルズ方程式を差分方程式に展開し、加速緩和法による数値計算を行い油膜特性を求めた。これにより軸のたわみを考慮した片あたり油膜特性を明らかにすることができた。また本解析法の確立により、動的アライメント解析に対して軸のたわみと片あたりを考慮することが可能となった。

## 第 3 章 軸受油膜の動特性

推進軸系の横振動解析には軸受油膜の動特性を考慮しなければならない。従来から使用していた船尾管軸受油膜の動特性は、軸と軸受は平行であるという仮定の下に解析を行い、片あたりを無視していた。しかし船尾管軸受に対してこのような仮定は必ずしも成り立たず、両者は通常片あたり状態にあると考えたほうが現実的である。そのため本章では軸受油膜の動特性を精度よく推定しこれを横振動計算に適用するため、片あたりを考慮できる軸受油膜の動特性解析法を明らかにした。また本解析法の精度を確認するため、片あたりを無視した油膜の動特性を求め、これを従来結果と比較しその妥当性について検討した。さらに動特性の一般的な傾向について検討し、片あたり軸受油膜の動特性は片あたりの度合（相対傾斜率）、ならびに片あたりの方向（軸心姿勢角）に大きな影響を受けることを明らかにした。

## 第 4 章 推進軸系の横振動

近年の船用推進軸系の横振動に関する検討は、従来の共振回避を主体とした検討に加えて変動軸受荷重や振動振幅を求め、推進軸をはじめとして船尾管軸受やシール装置などの安全性を確認し、さらに船体への伝達起振力を検討するなど非常に多岐にわたるようになってきた。本章ではこのような課題を解明し、安全性ならびに信頼性に富んだ推進軸系装置とするため、軸系を集中定数系モデルに置き換え、伝達マトリクス法を適用した横振動解析法を確立した。本解析法に第 3 章で明ら

かにした片あたり軸受油膜の動特性を導入し、任意の片あたりに対する横振動計算を可能とした。

本解析法の確立により推進軸のふれまわり状態が確認できることとなり、軸受やシール装置の安全性に関する検討が容易になった。さらに本解析法を適用しプロペラのジャイロ効果、軸のせん断変形、軸力、軸受個数、片あたりなどが横振動特性におよぼす影響について明らかにした。また本解析法の妥当性を検証するため実船実験を行い、解析解との比較を試みた。

## 第5章 推進軸系とボッシングの連成振動

船用推進軸系がボッシングなどのような比較的柔な構造物で支持されているとき、推進軸系の横振動特性を精度よく推定するためには、両者の連成振動を考慮しなければならない。特に推進軸系とボッシングの固有振動数が接近していると、連成効果が大きくなるため注意が必要である。本章ではこのような課題を解明し推進軸系の動的挙動を精度よく推定するため、推進軸系とボッシングの二層系からなる振動解析モデルを提案し、本解析モデルに基づいた横振動解析法を明らかにした。さらに実船実験を行い、推進軸系の固有振動数ならびに振動振幅について解析値と実験値を比較した。両者は良好に一致し、本解析法が実船に十分適用可能であることを提示した。さらに推進軸系の横振動特性に大きな影響をおよぼすボッシングの振動特性についても検討し、ボッシングの対称・逆対称振動特性について明らかにするとともに、ボッシングの付加水質量ならびに固有振動数の簡易計算法を提案した。

## 第6章 推進軸系の動的アライメント

船尾管軸受やシール装置に発生する損傷事故の大半は、推進軸の回転中に発生する。これは推進軸がその回転数に応じたプロペラ・フォースの影響を受けるために平衡状態が変化し、極端な場合には軸が軸受面やシール装置に接触するために発生する損傷である。このような損傷事故を未然に防止するためには運転中の軸の状態、すなわち動的アライメントを推定できる解析法を確立し、本解析法に基づいて適切な処置を施さなければならない。そのため本章では、第2章で提示した油膜特性を導入した動的アライメント解析法を確立した。解析には第4章と同様な解析モデルを採用し、伝達マトリクス法による解析法を展開した。さらに代表的な伴流分布と動的アライメントの関係を示し、特にV型船尾形状を有する大型高速コンテナ船の動的アライメントの特徴について明らかにした。また実船に本解析法を適用しその妥当性を確認するとともに、実船の直進、後進、旋回における動的アライメントの一般的傾向を明らかにした。

## 第7章 横振動の防振対策と動的アライメントの最適化

本章では各章で展開した各解析法を適用し、船用推進軸系の横振動防振対策と動的アライメントの最適化について検討した。さらに本検討に基づき設計指針を提案した。

横振動の防振対策については大型高速コンテナ船の推進軸系を対象とし、船尾管軸受の油膜特性を明らかにするとともにプロペラ翼数、プロペラ重量、プロペラ慣性モーメントと固有振動数の関係を明示した。また回避しなければならない推進軸の固有振動数領域を示し、設計上の対策を容易

にした。さらに軸受位置の変更による横振動の防振対策についても検討し、その効果について定量的検討を行った。

動的アライメントの最適化については個々の船舶ですべて条件が異なるため、一般的な取扱いが難しい。そのため本章では一般的な対象として軸受給油溝位置、ならびにスカート型軸受(Flared bearing)を選び、それらについて動的アライメントの観点から検討し、その特性を明らかにした。また本研究で確立した各解析法を実際の損傷事故に適用し、設計変更を行った具体例について取上げた。

## 第 8 章 結 言

本研究で得られた成果を要約すると次のとおりである。

- (1) 船用推進軸系の動的アライメントを定量的に推定できる解析法を確立し、さらに実船の動的アライメントの特性を明らかにした。
- (2) ミスアライメント状態にある船用推進軸系の横振動解析法ならびに推進軸系とボッシングの連成振動解析法を確立し、さらに推進軸系ならびにボッシングの振動特性を明らかにした。
- (3) ミスアライメント軸受の油膜特性（静特性ならびに動特性）解析法を確立し、さらにミスアライメント軸受の油膜特性について明らかにした。
- (4) 大型高速コンテナ船の推進軸系に対する防振対策の設計指針、ならびに動的アライメント対策に対する設計指針について明らかにした。

## 審査結果の要旨

船用推進軸系の損傷事故は比較的発生頻度が高く、しかもその大半は船舶の運航中に発生する。したがって推進軸系の損傷原因を究明し合理的な設計を行うためには、運航中における推進軸系の動的挙動を明らかにしなければならない。

本論文は、船用推進軸系の信頼性向上に寄与するために推進軸系の動的挙動解析法の確立を計った一連の研究成果をまとめたもので、全編8章からなる。

第1章は序論である。

第2章では船用推進軸系の動的アライメント解析に必要な船尾管軸受油膜の静特性解析法を示している。そこでは軸受の片あたりと軸のたわみ変形を取入れた新しい解析法を展開している。

第3章では横振動解析に必要な船尾管軸受油膜の動特性解析法を示すとともに、軸受の片あたり油膜動特性をはじめ明らかにしている。本解析法は複雑な動的アライメントを呈する船用推進軸系に適用可能である。

第4章では、第3章で明らかにした片あたり船尾管軸受の油膜動特性を推進軸系の横振動解析に適用する解析法を導いている。さらに横振動に関する一般的特性、すなわちプロペラのジャイロ効果、軸のせん断変形、軸受支点数などの影響を明示するとともに、本解析法の妥当性を実船実験により検証している。

第5章では、船用推進軸系とボッシングの連成横振動解析法を展開している。さらに実船実験により本解析法の妥当性を実証している。

第6章では船舶運航中における推進軸の軸心姿勢を求める動的アライメント解析法を展開している。そこでは第2章で提示した油膜静特性を導入して種々の運転条件に対応可能な計算方法を確立している。さらに本解析法を実船に適用し、プロペラ位置伴流分布と動的アライメントの関係を明らかにしている。このような解析例は従来まったく行われたことがなく、有益な結果である。また実船実験を行い本解析法の妥当性を検証するとともに、実船の動的アライメントの特徴を明らかにしている。これは注目すべき成果である。

第7章では横振動の防振対策と動的アライメントの最適化について考察している。横振動の防振対策についてはその対象を大型高速コンテナ船に焦点をあて、種々の条件に対する横振動の防振対策上の有益な知見を得ている。

動的アライメントの最適化については、給油溝位置ならびにスカート型軸受などの動的アライメント効果を論じている。また本論文の動的挙動解析法を実船の損傷事例に適用し、その成果を例示するとともに、本解析法の妥当性を明らかにしている。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、船用推進軸系装置の合理的な設計を目的として推進軸系の動的挙動解析法の確立を計ったものであり、機械力学ならびに機械工学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。