

45 高速船用機関の信頼性向上に関する研究

－高速船入出航時の負荷特性について－

環境・エネルギー研究領域 ＊高井 元弘、西尾 澄人、米林 敦男、長内 敏雄、北村 文俊

1. まえがき

近年、ヨーロッパを中心に旅客と乗用車をターゲットにした大型高速カーフェリーが相次いで就航し、成功を収めている。ユーロ経済圏の拡大と共に、さらにその発展が期待されている。わが国においても数隻の 30 ノットを超える大型高速カーフェリーが就航を開始したが、商業的には必ずしも成功していない。しかし、旅客輸送を中心とする比較的小型の高速船は既に多くの航路で活躍しており、高速化に対応した新しい船形の開発、小型、高出力機関の開発、港湾設備の拡充を背景に、今後さらに高速船の就航が増えることが期待される。

高速船の推進主機関は一部のガスタービン搭載船を除き、小型、軽量、高出力の高速ディーゼル機関が採用され、推進システムの高出力化と冗長性のため主機を複数台搭載した多軸船が一般的である。高速カーフェリー、高速旅客船は、短距離航路に就航し、港内停泊時間も短く、その高速性を生かして、一日に同一航路を何度も往復することにより、非常に効率的な運航が行なわれている。したがって、機関等のトラブルによる減速、欠航は大きな経済的損失につながるため、推進機関

には、従来以上の高い信頼性が必要とされるが、高速機関に特有のトラブルの発生が多く報告されている。高速機関の運転状況は、発停や入出航時の負荷変動の繰返しが行なわれ、また、定時運航確保のための高負荷運転なども不可避であると思われる。このような高速船特有の運航パターンが機関トラブルの発生に密接に関係することが考えられる。

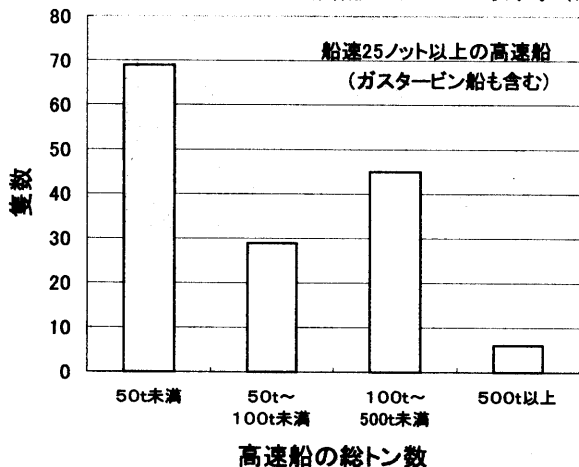
このため、高速船の運航パターンと機関の負荷特性の関係を明らかにするため実船計測を行なった。本報告では、実船計測により得られた推進軸の計測結果から得られた高速船の入出時の負荷特性について報告する。

2. 実船計測の概要

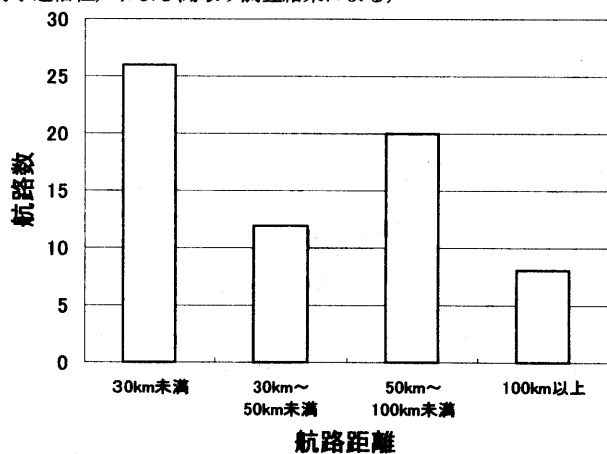
2.1 内航高速船の現状

現在、国内の定期航路に就航している旅客船、カーフェリーについて、船速 25 ノット以上の船約 150 隻を高速船として、総トン数と隻数の関係をまとめた結果を図－1 に示す。ヨーロッパを中心に急速に増加している総トン数 500 トン以上の大型高速船は国内では商業的に苦しい状態にあると言われており、未だ就航隻数少ないのが現状である。図－2 には、船速 25 ノット以上の高速船

(フェリー・旅客船ガイド 2001 秋季号 (日本海事通信社) および聞き取り調査結果による)



図－1 内航高速船の総トン数と隻数



図－2 高速船航路距離と航路数

が就航している約 66 の航路について航路数と航路距離の関係を示す。航路距離が 30 km 未満の航路が全体の半数近くを占め、所要就航時間は 10 分～30 分となっている。また、寄航地なしの単独航路で最長は約 175 km、就航時間は 2 時間 30 分となっている。

2.2 実船計測船の概要

今回の実船試験の計測対象船は、M港～N港間に就航している波浪貫通型双胴船の高速カーフェリーA丸である。総トン数は800トンを超えており、現在、国内で就航中の数少ない大型、高速カーフェリーである。旅客定員約400名、乗用車約50台を搭載し、航海速力約25ノット、最大速力約30ノットで航海することができる。本船は、M港～N港間の航路距離約135kmを就航時間約3時間40分で1日1.5往復している。

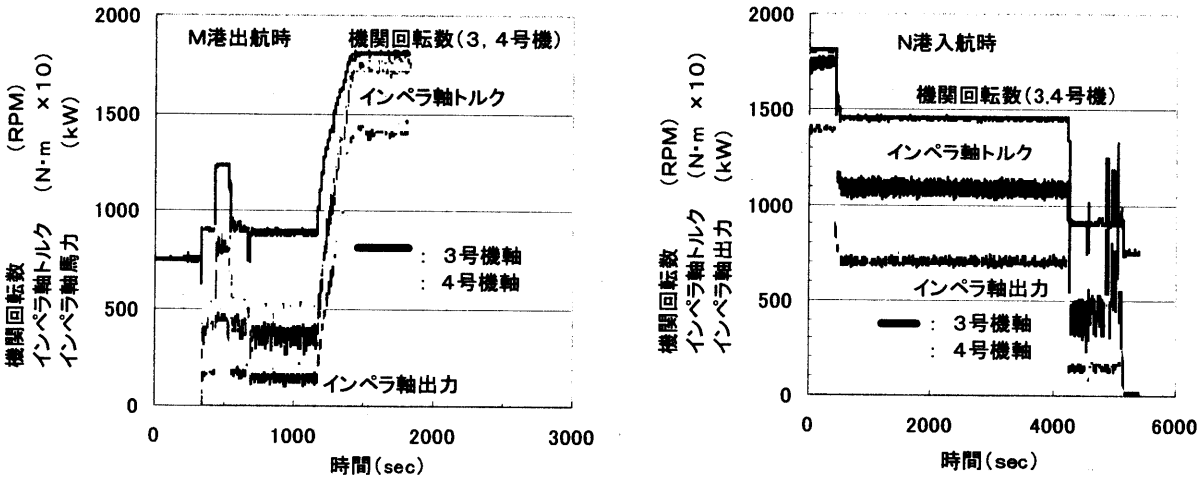
推進プラントは両舷それぞれ2機の4サイクルV型16気筒の高速ディーゼル機関(2,023kW×1,950rpm)を主機として、弾性継手、減速機(減速比2.319)を介して、斜流式操舵後進機構付ウォータジェット推進器(2,800kW×950rpm)を駆動する4機4軸船である。船体の後進操作は、ウォータジェット推進器のバケットを油圧により操作し、水流を変えて行なう。

2.3 計測項目及び計測方法

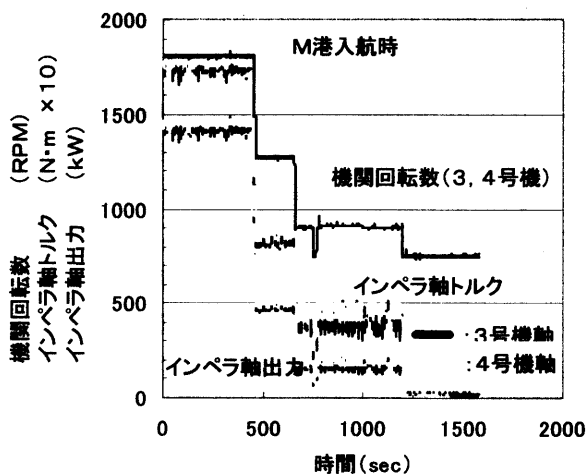
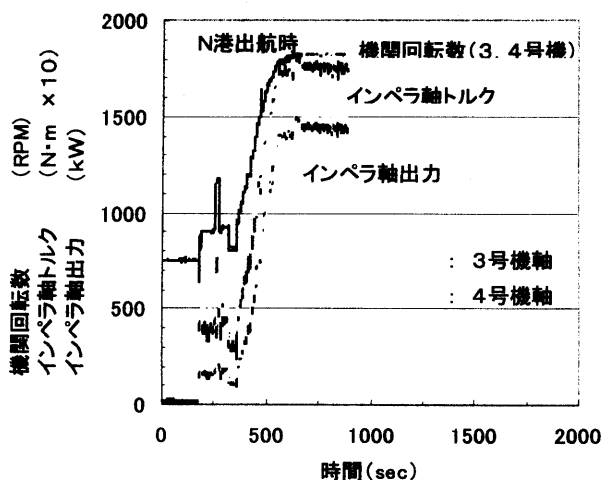
実船計測では、機関の負特性、推進軸のトルク

特性を、機関の始動、暖気運転、出航、入航、停泊まで連続的に計測することとした。計測項目は、主機関のシリンダ内圧力、シリンダ内温度、シリンダ出口排気温度、ウォータジェット推進器インペラ駆動中間軸トルクおよび回転数等である。筒内圧等の機関本体の計測方法の詳細については、別途報告しているので、トルク計測法について紹介する。トルク計測は、左舷ウォータジェット推進機3、4号機のインペラ駆動中間軸(外形120φ、内径80φの中空軸)に歪ゲージを貼り付け、軸表面歪を小型テレメータ送受信機を用いて計測した。なお、3号機軸は左舷の船体中央寄りに、4号機軸は左舷の船体外側寄りに位置するウォータジェット推進器を駆動する軸である。また、軸回転変動はそれぞれの軸に2つ割りの歯車(モジュール2.5、歯数100)を取付け、磁電式回転検出センサーにより、歯の山谷をパルス信号として検出した。測定データは、約30m離れた車両甲板上で記録し、温度データは5kHz、その他のデータは50kHzのサンプリング周波数でA-D変換を行い、データテープ(AITテープ)に記録した。

各種センサーの取付け、計測装置の配線作業等は、本船運航終了後の停泊中に行なった。実船計測は、平成13年12月に2日間に渡って行い、M港～N港間の2往復について出航から入航、停泊に到るまで連続して計測した。



図－3 入出航時の負荷変動 (M港出航、N港入航)



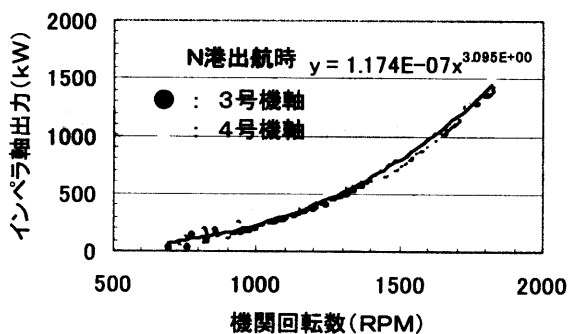
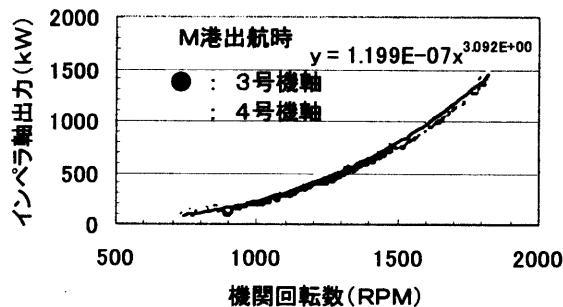
図－4 入出港時の負荷変動（N港出航、M港入港）

3. 計測結果と解析

3.1 入出航時のトルク変動

図－3、図－4に M 港および N 港入出航時における機関回転数、インペラ軸回転数、インペラ軸トルク、軸馬力の変化を示す。図に示す値は、いずれも 1 秒間の計測データを平均したものであり、機関回転数は、同時に計測したシリンダ内圧力波形から圧力のピーク間の時間を求め算出している。入出航時の主機回転数は、停泊時約 750 rpm、港内減速運転時は約 900 rpm および約 1450 rpm、後進時には約 1230 rpm の回転数が主に使われている。定常運転時は船速約 24 ノット、主機回転数は約 1819 rpm、インペラ軸回転数は約 780 rpm であり、3、4 号機とも同一である。M 港は N 港に比べ大きな港であり、港内の通過船舶も多いため、M 港出航時の機関回転数、インペラ軸出力の変化も N 港出航時に比べ非常に複雑であることが分かる。出航時には船の旋回のための後進操作などの複雑な機関回転数の制御が行われた後、主機回転数約 900 rpm の減速運転から、200～500 秒の時間で定常運転時の主機回転数 1810 rpm まで徐々に増速されていくが、入航時には定常回転数から、階段状に急激に減速されており、出航時と入航時の主機運転状況が大きく異なることが分かる。接岸時には、旋回操作などに伴う、複雑な主機関の回転数制御がおこなわれている。

図－5には、M 港、N 港出航時における主機関回転数と 3、4 号ウォーターポンプ推進器インペラ



図－5 出航時における軸出力特性

軸出力の関係を示す。インペラ軸出力は、インペラ軸トルクとインペラ軸回転数より算出したものである。インペラ軸出力は、出航時の主機回転数が短時間で変化する過渡的な状態における計測結果をまとめたものであるが、いずれの港においても、インペラ軸出力は主機回転数の三乗の曲線でほぼ近似できることがわかる。この傾向は、両港

における入航時も同様な関係が得られている。

3.2 インペラ軸のトルク変動成分

図-6にM港出航時の3、4号機軸のトルク変動を示す。停泊ターミナルより、左舷機関回転数約900rpmで後進、約1240rpmで旋回、約900rpmで前進時の状態を示している。トルク変動成分は、4号機軸に比べ、3号機軸のほうが明らかに大きい傾向がある。図-7には、機関回転数約900rpmで減速前進時の3、4号機軸のトルク変動分の波形を、また、図-8には、この時の1分間のトルク変動分の計測データについてスペクトル解析を行なった結果を示す。トルク変動分は、機関回転数成分(3号機軸 14.7Hz、4号機軸 15.9Hz)およびインペラ軸回転数成分がほとんどである。トルク変動成分の大きい3号機軸では、機関回転数成分のスペクトル振幅が大きいが、中間軸の長さの違いなど軸系の影響と考えられる。また、インペラ軸回転数成分近傍でのスペクトル振幅の分布に違いがあるが、ウォータジェットポンプに海水を取入れるインレットダクトの位置が異なる影響等が考えられる。

4. まとめ

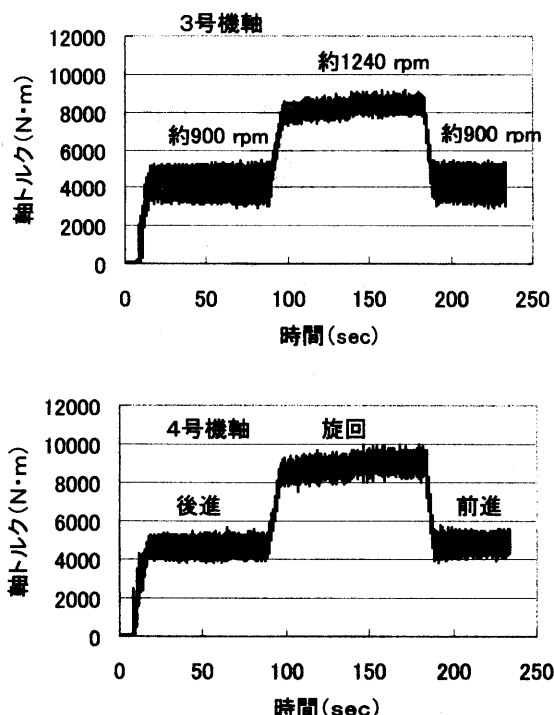


図-6 M港出航時のトルク変動

定期航路に運航中の高速船は、運航スケジュールを厳守することが絶対条件であり、その中での実船計測は計測準備など非常に困難があった。今回の経験を生かし、さらに、数隻の高速船について実船計測を実施する予定である。

なお本研究は、日本財団の助成事業である(社)日本造船研究協会不具合情報評価分科会との共同研究の一部として実施したものである。実船試験の実施にあたり多大なご協力を頂いた船主、並びに本船の関係者の方々に厚く感謝いたします。

参考文献 (省略)

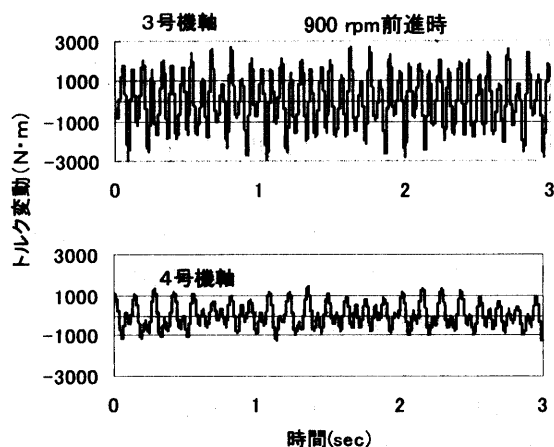


図-7 トルク変動成分の波形

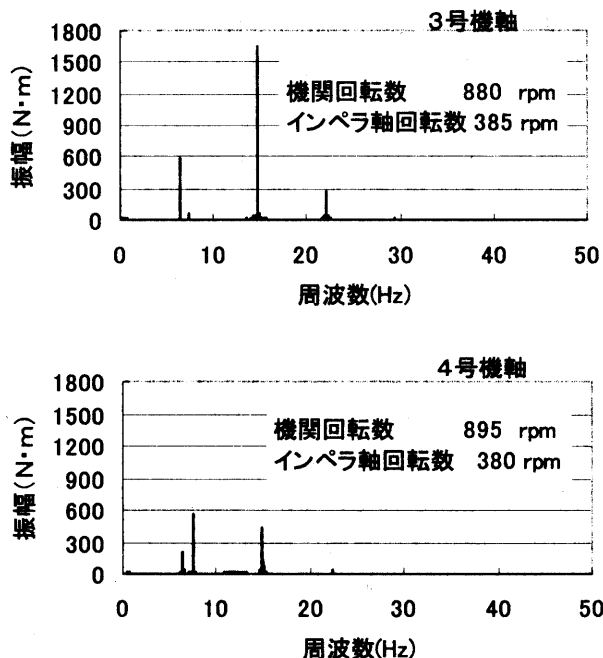


図-8 トルク変動成分のスペクトル分布