

特 集 論 文

運航モニタリングによる内航フェリーの
の推進性能評価法Monitoring of Service Performance of a
ROPAX Ferry

溝 上 宗 二 ^{*1} Shuji Mizokami	小 段 洋 一 郎 ^{*1} Youichiro Kodan	北 村 徹 ^{*2} Tohru Kitamura
大 西 克 司 ^{*3} Katsushi Onishi	大 和 邦 昭 ^{*4} Kuniaki Yamato	上 田 直 樹 ^{*5} Naoki Ueda

本来、船舶の推進性能の評価は実海域推進性能を対象とすべきであり、風や波の外力の影響や性能の経年劣化の評価が必要となる。しかし、実海域推進性能の把握には、実船計測方法、計測データの評価方法など検討すべき課題も多い。そこで、当社建造の大型旅客フェリーに運航モニタリングシステムを搭載し、実運航状態における機関出力、速力、燃料消費量など推進性能を定量化するためのデータを取得した。本報では解析事例として瀬戸内海航路に就航中の内航フェリーの運航モニタリング結果を示し、解析方法の妥当性と当社建造船が実海域においても良好な推進性能を発揮している事を示した。

1. は じ め に

船舶の推進性能は、引渡し前の海上公試時に平穏な海域での航海を想定したスピードトライアルにより評価・保証されている。しかし、現実の航海においては風や波の影響を受けているため、近年、実海域での推進性能の実態に基づいて船の性能を評価する動きが活発化している^{(1)~(3)}。

当社は、まず内航フェリーを対象として運航モニタリングを開始し、就航した船の実力把握を試みている⁽⁴⁾。運航時のモニタリングデータから、例えば水深が十分に深い海域など推進性能を把握する上で適切なデータをサンプリングし、風や波などの外乱の影響を考慮した上で、本船の推進性能を解析することが可能となれば、海上公試のスピードトライアルとの性能差も明らかになり、同時に本船の計画シーマージンの妥当性も評価することが可能となる。また、燃料流量など燃費性能を評価するデータを合わせてモニタリングしておくことで、推進性能のみならず燃費性能についても評価できれば、船の経済運航に有益な情報を提供することができる。

本報では、当社が開発したモニタリングシステムの概要を説明し、瀬戸内海に就航中のフェリーを例にとり、運航モニタリングについて述べ、主として試運転解析の手法を適用して抵抗及び馬力増加の要因を分析した結果を報告する。

2. 運航モニタリングシステム

2. 1 システム概要

運航モニタリングシステムは船内に搭載する自動収録装置を用いて本船からの各種信号（機関、運動、気象、操作量など）の収録を自動的に行い、蓄積されたデータを陸上で解析することにより船舶の就航解析を実施するシステムである。

2. 2 システム構成

本システムはデータ計測処理を行う自動収録装置と解析処理を行うデータ解析システムの2つで構成される。図1にモニタリングシステムのシステム構成を示す。

2. 3 自動収録装置

図2に自動収録装置搭載例を示す。本装置はパソコン、A/D変換器、通信ボード、計装アンプ、UPS等の汎用機器を用いて構成している。

本船より出力されるアナログ・デジタル・通信データ等の各種信号を自動収録装置内に搭載した各計装ボード類を介して任意のサンプリング周期（1秒以上）ごとに蓄積され、搭載する記憶装置に日付・時間を元にネーミングされた1時間ごとのファイルとして記録し、連続した1日24個のファイルを生成する。さらにデータ解析処理を簡便に取り扱うために20秒毎の平均ファイルを1次解析処理にて作成する。表1に本装置により計測されるデータ項目（代表例）を示す。

収録されたデータの一例として図3に時系列図を示す。このデータファイルは記憶装置に保存されており、

^{*1} 技術本部長崎研究所船舶・海洋研究室

^{*2} 下関造船所船舶・海洋部次長

^{*3} 下関造船所船舶・海洋部計画設計課主席

^{*4} 下関造船所船舶・海洋部計画設計課

^{*5} 船舶・海洋事業本部船舶技術部商船・海洋計画グループ長

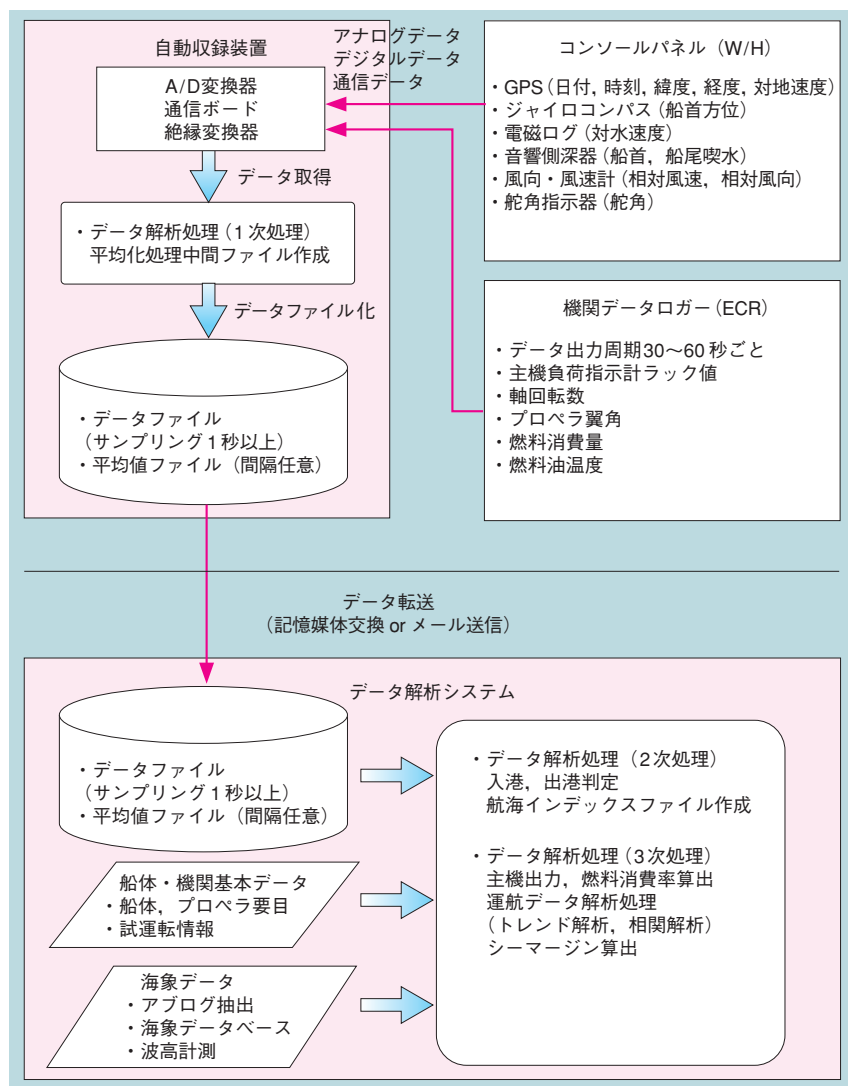


図1 システム構成図
自動収録装置とデータ解析システムで構成される。

数ヶ月毎に記憶媒体を交換しデータの回収を行う。

また、国内沿岸域に限定されるが近年携帯電話を使用したパケット通信サービスなども普及してきており、これらを利用して寄港中の安定して通信できる領域で陸上のデータ解析システムにファイルを添付したメールを複数送信しデータを陸上に転送することも可能としている。

2.4 データ解析システム

データ解析システムは連続計測された計測データの良否確認と計測データから定常運航部分を切り出して航海インデックス化し、就航解析を行うシステムである。

システムに取り込まれた計測データは、入出港時や停船時を除いた定常運航データを抽出するため、あらかじめ設定された就航船寄港地の位置情報と本船GPSから得られる位置情報とを照らし合わせ、緯度、経度が一定範囲に入り、かつ、船速が十分低速な場合



図2 システム搭載例
パソコンや計装機器類を専用ユニットにまとめて本船のブリッジに搭載する。

表1 モニタリングシステムで収録する計測項目例

データ取得機器名称	データ項目
GPS	UTC時刻→JST時刻 ^(注)
	緯度・経度
	対地速度
ジャイロコンパス	船首方向
電磁ログ	対水速度
音響側深器	船首、船尾喫水、水深
風向・風速計	相対風速、相対風向
舵角指示器	舵角
機関データロガー	主機負荷指示計ラック値
	軸回転数
	プロペラ翼角
	燃料消費量
	燃料油温度
(演算値)	軸馬力(ラック馬力)
	燃料消費率

(注) UTC：世界協定時，JST：日本標準時

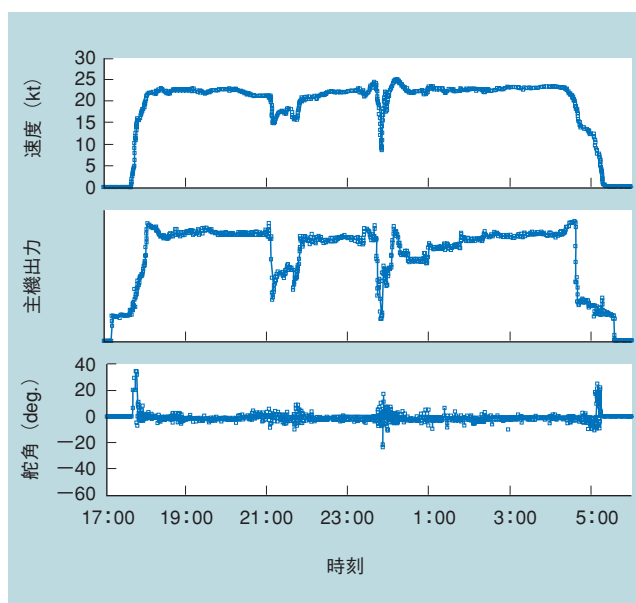


図3 計測データ時系列図
本船の出港から入港までの一航海分の計測データの時系列（船速、主機出力、舵角）を示す。

を入出港と判断し、入出港時刻、港湾名、対象データファイル名を抽出、関連付けが行われる。

この2次解析処理により定常運航データを抽出した図4に示すような航海インデックスファイルが作成される。

またインデックス内の不適合データを取り除くため図5に示すような指定区間の時系列表示、航跡図表示機能により計測データの良否を手動で判断しデータの確度を上げる。

作成されたインデックスを元に船体、機関、プロペラ等の基本データ、試運転結果から得られる主機特性情報を入力し一航海毎の就航データを次章に示すようなトレンド解析を行い、馬力、燃料消費率等の就航結果算出が行われる。航海毎に解析された結果ファイルから航海毎の各データ全平均値を取り、全航海を取りまとめた最終結果が作成される。

3. 内航フェリーの運航モニタリング

ここで、当社で建造した内航フェリーを対象としたモニタリング例を紹介する。本船は2基の中速ディーゼル主機と可変ピッチプロペラを備えている。航路は北九州と大阪間であり瀬戸内海を航海する。モニタリ

ングの実施にあたり、計測用のPC及び各種計装機器をまとめてブリッジに設置した。本船のモニタリング項目をまとめて表2に示す。

なお、本船は軸馬力計および対水速度計を装備していないため、主機出力（BHP）については、あらかじめ用意した特性曲線を用い、主機負荷指示計のラック値と主機回転数から推定した。特性曲線は、海上公試時に軸馬力計を設置して取得したデータから求めたものである。

対水速度については、主機出力とプロペラ回転数より当社の試運転解析手順に従って求めた。

表2 モニタリング船の計測項目（抜粋）

計測項目	
①	日時
②	船の現在位置（緯度、経度）
③	対地速度
④	相対風向／風速
⑤	船首尾喫水
⑥	舵角
⑦	主機負荷指示ラック値／回転数（左舷，右舷）
⑧	CPP翼角（左舷，右舷）
⑨	水深

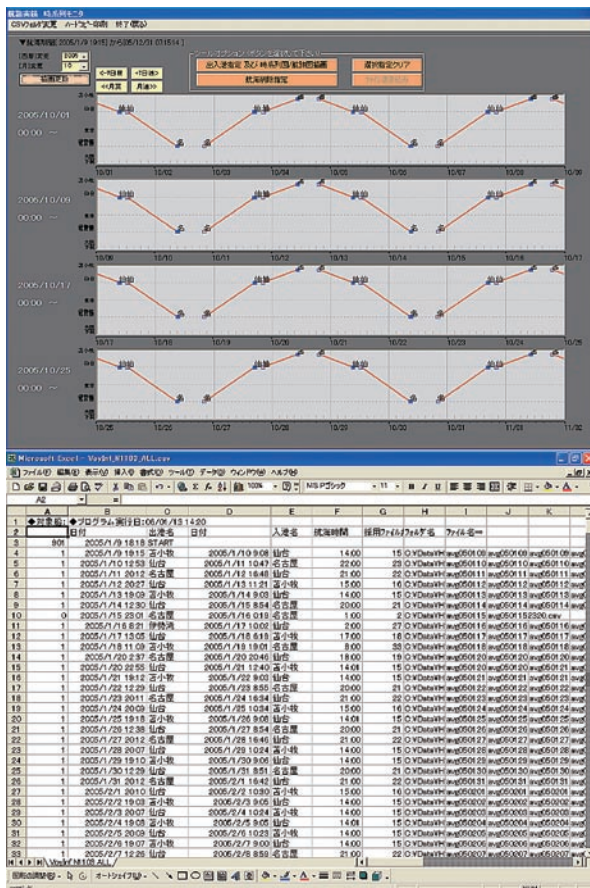


図4 航海情報作成例

本船の出入港を自動判別し、本船の航海と収録した運航データファイルを関連付ける。

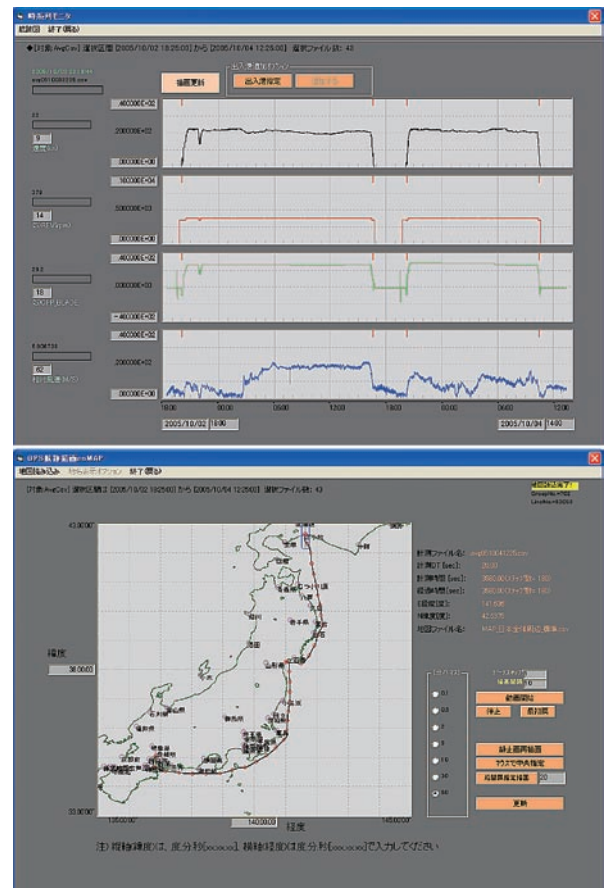


図5 時系列、航跡確認画面表示例

日時を指定して運航データの時系列や航跡を画面上で確認しながらデータのチェックを行う。

4. 解析結果

4.1 運航データの解析区間抽出

図3に示したような航海時の運航データが約2年程度蓄積されたあと、航海毎のデータを点検し、さらに、運航データの解析区間として、水深が十分に深く（約50 m）、かつ、操舵による変針や主機回転数の変化が小さく毎回ほぼ一定の状態で開催している範囲を選定した。そして、計測した運航データの中から、選択した地点を通過する時の運航データを抽出して、計測項目毎の平均値や標準偏差を求めた。対地速度、相対風向と風速、主機ラック値と回転数、CPP翼角については平均値を求め、舵角については平均値と変動の大きさを把握するために標準偏差を求めた。

船首及び船尾喫水は、静圧を計測することで喫水に変換しているため、船速が大きくなると動圧影響により正確な喫水が得られない。したがって、船速が十分に小さい時の平均値から求めた喫水を航海時の喫水とした。

4.2 運航データ解析手順

運航データから得られた主機出力 BHP と主機回転数の平均値データを用いて、参考文献(4)に示した当社の試運転解析に準じて対水速度、全体抵抗などの解析を行った。

全体抵抗 R を所定のパラメータで無次元表記して

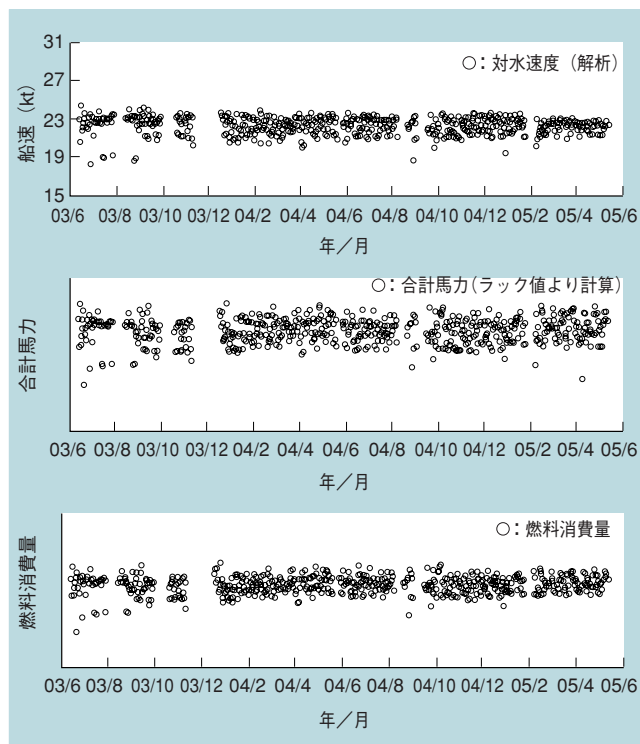


図6 計測結果のトレンドグラフ
各航海の平均値を求めモニタリングで計測した値の長期的な変化の傾向を示す。

全抵抗係数 C_T が計算される。ここで、全抵抗係数 C_T から、摩擦抵抗係数 C_f と剩余抵抗係数 C_r を差し引き、残りを ΔC_r とおく。この ΔC_r は平水中からの抵抗増加分に相当する。

摩擦抵抗係数 C_f は、運航時の平均船速などから所定の摩擦抵抗算出式より得られる。剩余抵抗係数 C_r は水槽試験結果を用いる。

4.3 解析結果

前節に記した方法で解析した対水速度、ラック値より計算した主機出力、計測した燃料消費量のトレンドグラフ（2003年6月～2005年5月）を図6に示す。

図7、図8にそれぞれ燃料消費量と船速および主機出力の関係を示す。燃料消費量は船速や主機出力の増加に伴って略比例して増加している。ここで、燃料消費量と主機出力から燃費率を算出した。ただし、就航時には、燃料の発熱量など物性値が得られないため、海上公試時の実績値を使用した。就航時の燃費率は主機の陸上試験結果に対して平均で+5.6%であった。増加の要因としては、外乱による負荷変動や計測方法の相違などが考えられる。

対水速度と主機出力（BHP）の関係を図9に、計測結果から得られた ΔC_r を C_r に対する比率（ $\Delta C_r / C_r$ ）で表示して、そのトレンドグラフを図10に示す。

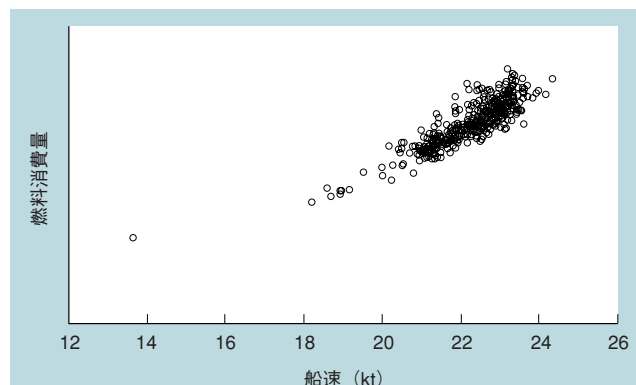


図7 船速と燃料消費量の関係
船速の増加に伴って燃料消費量が増加している。

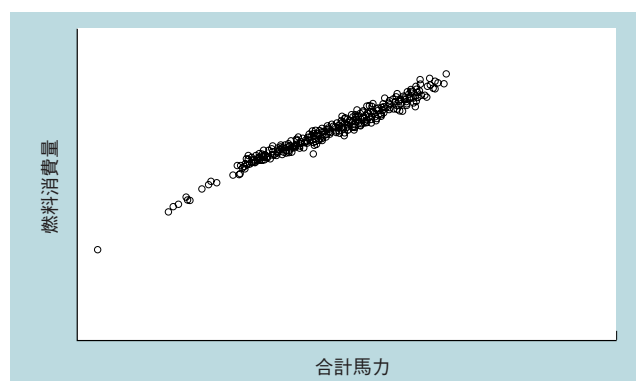
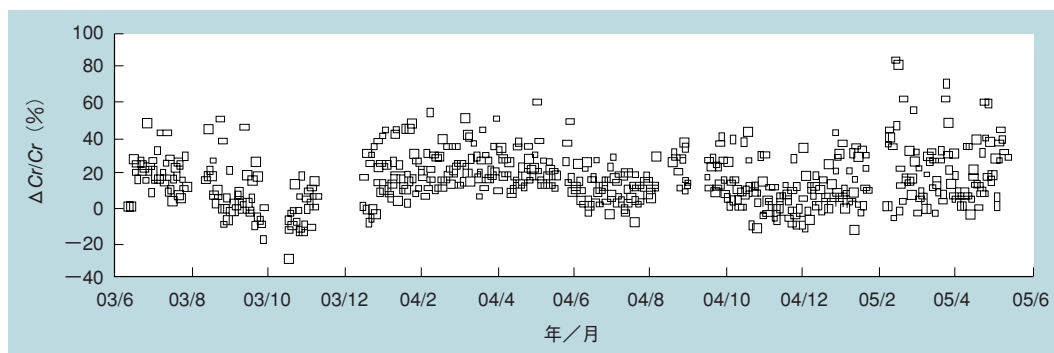


図8 主機出力と燃料消費量の関係
主機出力に比例して燃料消費量が増加している。

図 10 抵抗増加量 ($\Delta Cr/Cr$) の変化

解析して求めた抵抗増加量 (無次元値) を示す。バラツキは BHP の 25 % に及んでおり外乱による抵抗増加量が多いことを表している。

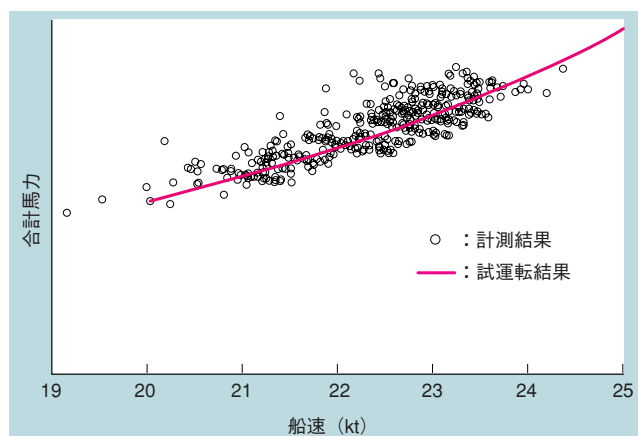
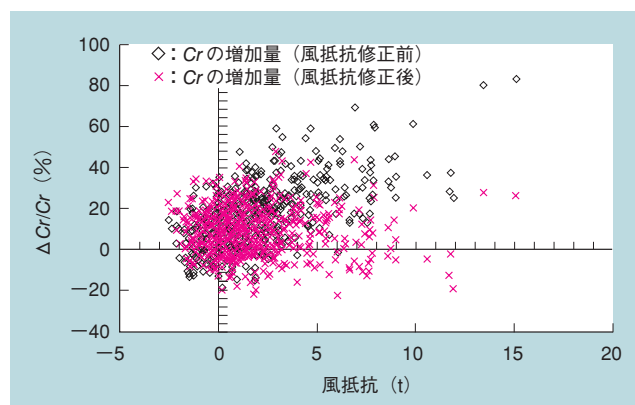


図 9 船速—主機出力カーブ (計測結果)

計測した船速と主機出力の運航データをプロットした結果。風や波など外乱によってバラツキが生じている。

す。対水速度に対する BHP には少なくないバラツキがあり、それは $\Delta Cr/Cr$ のバラツキに対応している。 $\Delta Cr/Cr$ のバラツキは 75 % 程度であり、 $\Delta Cr/Cr = 15\%$ ($\Delta Cr = 0.001$) は BHP に換算すると平均値の 5 % に相当するので、この ΔCr のバラツキは BHP の 25 % のバラツキに相当し、外乱による船体抵抗増加が多いことを示している。

ΔCr の中身は、風、潮流、波浪、喫水 (排水量)、トリムなどの影響が考えられるが、瀬戸内海は一般的に静穏な海域であり波浪影響は小さいと考えられる。本船は大型の旅客フェリーのため大きな上部構造物を有しており、風による空気抵抗増加の影響を調べるため、 ΔCr を無風状態に修正してみた。相対風向・風速、本船の正面風圧抵抗係数などから、船の前進速度による空気抵抗を考慮して風抵抗 R_{wind} のみを計算し、これを全抵抗 R から引き去った後、再び ΔCr を計算すれば、無風状態に修正された ΔCr が得られる。修正前後の $\Delta Cr/Cr$ を比較して図 11 に示す。修正前の $\Delta Cr/Cr$ は風抵抗の増加に伴って大きくなっている。風抵抗修正後の $\Delta Cr/Cr$ のバラツキは修正前の $\Delta Cr/Cr$ のバラツキに対して大きく減少しており、ゼ

図 11 風抵抗と $\Delta Cr/Cr$ の関係

補正前の $\Delta Cr/Cr$ は風抵抗の増加に対応して大きくなっているが、無風状態に補正後は、風抵抗に関係なく一定となっている。

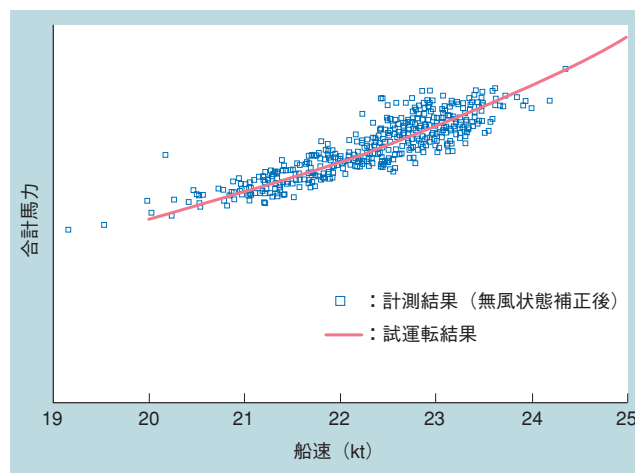


図 12 船速—主機出力カーブ (無風状態補正)

主機出力を風が無い状態に補正したもの。主機出力のバラツキが小さくなり、また海上公試結果に良く一致している。

ロ付近に分布している。したがって、 $\Delta Cr/Cr$ のバラツキには、空気抵抗の変動の寄与が大きいことが分かる。

無風状態に補正した BHP と船速の関係を図 12 に示す。図 9 と比較して船速に対する BHP のバラツキ

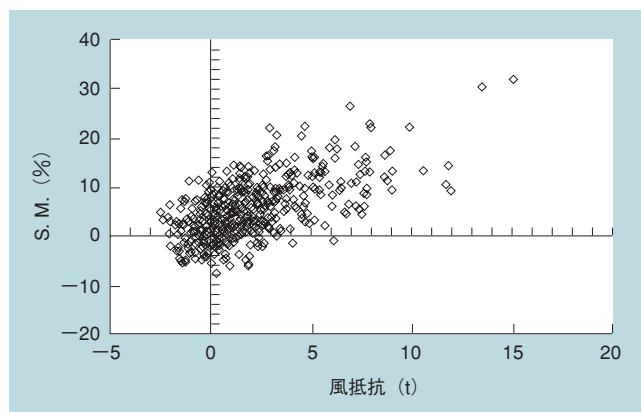


図 13 風抵抗とシーマージンの関係
風抵抗が大きくなるとシーマージンが増加している。
風抵抗が、本船の抵抗増加の主要因と思われる。

がかなり少なくなっていることが分かる。

ここで、水槽試験結果より就航時の排水量や浸水面積に対応した剩余抵抗および摩擦抵抗を求めて平水中馬力を計算し、就航時の船速と主機出力の実績値との差を求めてシーマージン(S.M.)を算出した。シーマージンを風抵抗と比較して図 13 に示す。風抵抗の増加にあわせてシーマージンも大きくなっているのが分かる。

5. ま と め

当社建造の内航フェリーに運航モニタリングシステムを搭載し、約 2 年分の運航データを収集した。取得されたデータは、ここで述べたような解析結果から見ても、長期にわたって一貫した精度を保っている。

また、同一海域を通過する間の運航データを取り出して解析し、抵抗・馬力増加の要因について分析した。その結果、検討対象の内航フェリーは就航後 2 年を経過した時点でも、新造船時と同等の性能を保って運航

されていることが分かった。また、本船の抵抗増加の要因は主に風によるものであり、波浪による抵抗増加はほとんど無視することが出来ることも分かった。その理由は、内航フェリーが大きな船上構造物を有することで風の影響を受けやすいこと、また瀬戸内海航路が一般的に静穏であり、波浪外力が小さいことだと思われる。

参 考 文 献

- (1) 松原知之, 就航実績から見た船の推進性能, 推進性能研究委員会・第 6 回シンポジウム“実海域における船の推進性能”(1995) p.1
- (2) 田中良和, 経済運航とライフサイクルバリュー, 日本造船学会(試験水槽委員会シンポジウム)実海域における船舶性能に関するシンポジウム(2003) p.10
- (3) 簀 一之ほか, 自動収録・解析システムを用いた 145 000 m³ LNG 船の就航実績について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 4 号 (2007) p.313
- (4) 溝上宗二ほか, 運航モニタリングによる内航フェリーの推進性能評価, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 3 号 (2006) p.437



溝上宗二



小段洋一郎



北村徹



大西克司



大和邦昭



上田直樹