

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03495

研究課題名（和文）船の速力試運転解析における外乱修正法と潮流速推定法の高度化

研究課題名（英文）Improvement of external disturbance method and current estimation method for ship speed trial analysis

研究代表者

安川 宏紀（Yasukawa, Hironori）

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：40363022

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、信頼性ならびに解析精度の高い船の速力試運転解析法を開発した。風波潮流等の外乱によるプロペラ回転数や船速の修正量は微小であるとの仮定の下、プロペラ推力と船体抵抗ならびにプロペラトルクと伝達馬力の釣り合い式をベースとして、最初に、プロペラ荷重度による自航要素の変化の影響を考慮し、次に、外乱に関わる情報を必要としない新しい速力試運転解析法を開発した。検証として、コンピュータ上でのヴァーチャルなものと実際の試運転データを用いるものの2つを実施した。検証の結果、今回開発した試運転解析法は、信頼性が高く、修正精度が大幅に向上しており、速力試運転解析法として有望であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、精度、ロバスト性、信頼性、効率性において従来法よりも一層高度化した船の速力試運転解析法を開発した。それを達成するために、プロペラ荷重度による自航要素の変化の影響を考慮し、さらに操舵ならびに斜航による抵抗増加を織り込んだ外乱修正法ならびにロバスト性ならびに効率性を向上させた潮流速予測法の高度化を行った。修正法の検証は、実船の速力試運転データを用いて実施した。本研究で目指す、新しい速力試運転解析法の構築により、従来やや信頼に欠けた船の性能を的確に把握することが可能となった。これは、我が国のみならず、世界の造船業や海運業に大きく貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed speed trial analysis methods for ships with high reliability and high analysis accuracy. On the assumption that the amount of corrections of propeller revolution and ship speed appear due to external disturbances such as wind, waves and current are small, using the balance equation of propeller thrust and hull resistance, and propeller torque and delivered power, we developed, first, a method considering the effect of the self-propulsion factor changes due to the disturbances, and next, a method that eliminates the need for the external disturbances. As validation and verification of the methods, two tests were carried out: a virtual one on a computer and one using full-scale trial data. As a result, the newly developed speed trial analysis methods have high reliability and greatly improved correction accuracy, and it has been found to be promising as a speed trial analysis method.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：速力試運転解析 外乱修正法 谷口・田村法 PTEM法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

船の建造後に行われる試運転は、船の速力性能を知る大事な試験である。万一、契約した速力が出ないということになれば、船を発注した船会社は運航計画の見直しを迫られることとなり、船を建造した造船所は多額のペナルティを課せられることとなる。速力性能は、通常、風、波、潮流等による外乱影響を含まない状態で定義される。しかしながら、速力試験は、風、波、潮流等による外乱影響を含んだ実海域で実施されるので、そこで得られた速力性能をそのまま外乱の無い状態の性能として使用することはできない。そこで、外乱影響を含む試運転結果から、外乱影響が除去された後の速力性能、すなわち、船速、プロペラ回転数、伝達馬力の真の関係を求める必要が生じることとなる。これを「船の速力試運転解析」もしくは「速力試運転における外乱修正」と呼び、船の速力性能を正しく把握するための、重要な解析と位置づけられている。

国内で広く使われていた速力試運転解析法に谷口・田村法[1]がある。しかし、この方法は外乱修正の基礎となる考え方が分かり難いと言われており、また、解析手順が複雑で、恣意的な解析が可能との指摘もある。それに代わるものとして、Direct Power Method(DPM)と呼ばれる新しい試運転解析法が提案されており[2]、ISO において試運転解析法の標準として推奨されている[3]。しかしながら、DPM における外乱修正法の基礎は不明瞭であり、十分な検証もないまま種々の近似が採用されている。試運転解析に水槽試験で得られた推進効率をそのまま用いる等、水槽試験に依存し過ぎている懸念もある。DPM は、解析法の精度、ロバスト性、信頼性、効率性において、問題を抱えており、むしろ従来からの谷口・田村法[1]よりも後退したとの意見もある。その解決のため、現在、国際水槽試験会議(ITTC)で種々議論が行われているが、根本的な問題を抱える DPM をベースとしているため、解決はおぼつかない。日本造船工業会からは、現有方法の高度化もしくは新しい方法の開発が望まれとの強い要求が出されている。

2. 研究の目的

これらを解決すべく、理論的に信頼でき、精度の高い速力試運転解析法を開発することが、本研究の目的である。

3. 研究の方法

2015 年に筆者が提案している新しい試運転解析の理論[4]を参考に、プロペラ回転数や船速の外乱による修正量は微小であるとの仮定の下、プロペラ推力と船体抵抗ならびにプロペラトルクと伝達馬力の釣り合い式をベースとした速力試運転解析法を開発する。本修正法は、基礎式や解析手順が明確であり、恣意的な解析を排除でき、DPM のように解析に必要なデータとして水槽試験結果を頻繁に用いるといったことはないという特徴を持つ。このような基本的な考えをもとにして、まずプロペラ荷重度による自航要素の変化の影響を考慮する。次に、さらにアドバンスした方法として、風波等の外乱に関わる情報を必要としない新しい速力試運転法を考える。

新しい解析法の検証として、コンピュータ上でのヴァーチャルなものと実際の試運転解析データを用いるものの 2 つを実施した。前者は、全てのデータがコンピュータ上で把握できるため、解析法自身の持つ問題点の把握に有益である。後者は、実船の試運転データを用いる必要がある。このような検証を通じて、信頼性の高い速力試運転解析法を構築する。

4. 研究成果

具体的には、次に示す新しい 2 つの速力試運転解析法を開発した。

1. プロペラ荷重度による自航要素の変化の影響を考慮した速力試運転解析法の開発
2. 風波等の外乱に関わる情報を必要としない新しい速力試運転法の開発

4.1 プロペラ荷重度による自航要素の変化の影響を考慮した速力試運転解析法

プロペラ荷重度に対する自航要素の変化を考慮できる新しい試運転解析法を 2 つ提案した。1 つ目は、プロペラ推力と船体抵抗ならびにプロペラトルクと伝達馬力の釣り合い式をもとにし、修正のためのプロペラ回転数変化は小さいとの仮定の下、テイラー展開を用いたもので、テイラー展開法(Taylor Expansion Method; TEM)と呼ぶ。2 つ目は、従来法の 1 つである谷口・田村法[1]を、プロペラ荷重度の違いによって生じる自航要素の変化を考慮できるように拡張した、改良谷口・田村法(improved Taniguchi-Tamura Method; iTTM)である。この方法は、近似を一切用いないことを特徴とする。これら 2 つの修正法の有効性を確認するため、理論的に速力試運転解析のデータを作り、それらに対して外乱修正を行い、真値ならびに DPM による結果と比較した。この場合には、真値が分かっているので、定量的に外乱修正の精度を確認できる。

Fig.1 に $\Delta R/R_{id}$ を横軸に取った場合の、プロペラ回転数(n)と主機の伝達馬力(P)における修正結果の誤差(真値との差異)を示す。 $\Delta R/R_{id}$ が大きくなると、外乱が大きくなることを意味する。外乱が大きくなるとプロペラ荷重度が増加し、それに対して、自航要素が大きく変化するものを”Hard change”、変化しないものを”Constant”としている。図中、”DPM(ave.**%)”という記載があるが、これは DPM によって行われた全ての修正結果の誤差の平均値を意味する。iTTM についても同様である。従来法である DPM によるプロペラ回転数および伝達馬力の修正結果は、 $\Delta R/R_{id}$ が 0.4 よりも大きくなると誤差が 1%を超え、さらに 0.6 を超えると精度が急激に悪化し、誤差は 5%程となる。それに対し、今回開発された TEM による修正結果は、Hard change においても誤差 1%未満であり、精度は良好である。今回開発されたもう 1 つの方法である iTTM

は外乱の大きさ，自航要素の変化量によらず，すべての修正結果が誤差 0.1%未満であり，修正精度が高いことがわかる。このような修正法による精度の違いは，DPM(従来法)は線形計算法，TEM(新しい方法)は 2 次の微小量まで取り扱った計算法，iTTM(新しい方法)は全く近似を行わない計算法であることに対応している。プロペラ回転数ならびに伝達馬力の修正結果は，iTTM, TEM, DPM の順に精度が良い。

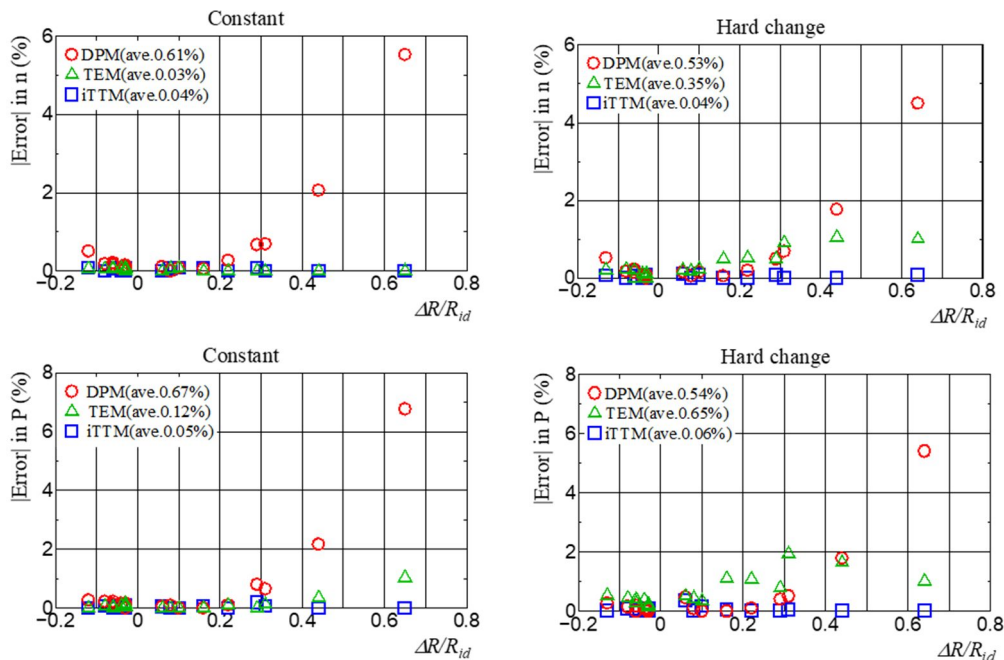


Fig.1 Errors of corrected propeller revolution (n) and delivered power (P) in constant wind without

4.2 風波等の外乱に関わる情報を必要としない新しい速力試運転法

さらに，外乱による抵抗増加や(対水速度もしくは潮流速度)の情報を必要としない外乱修正法を提案した。外乱修正を行う基礎式として，DPM にならぬ伝達馬力の式を用い，さらに無外乱下の推進効率や伝達馬力に関する線形定数は既知とした。その上で，プロペラ回転数の修正量は微小であるとの仮定の下，無外乱時の伝達馬力の式をテイラー展開して，基礎式を求めた。この修正法をパワーテイラー展開法(Power-based Taylor Expansion Method; PTEM)と呼ぶ。PTEM では，一航走しただけで，ただちに無外乱時のプロペラ回転数とそのときの伝達馬力を求めることができる。また，外乱修正と同時に，試運転時の船に作用する外乱による抵抗増加や対水速度を求めることができる。

提案した修正法(PTEM)の有効性を確認するため，理論的に速力試運転解析のデータを作り，それらに対して外乱修正を行い，真値ならびに DPM による結果と比較し，修正精度を検証した。次に，この PTEM を実船のタンカー船型の速力試運転解析に適用した。同型船 4 隻に対して，試運転解析を行い，谷口・田村法(TTM)や DPM の結果と比較した。

Fig.2 に，実船のタンカー船型を対象としたプロペラ回転数と伝達馬力の修正結果を試運転解析法毎にまとめたグラフを示す。基礎となるデータは，実際の試運転時に得られたものである。図中，得られた修正結果をもとに，船速による 4 次のべき多項式でフィッティングした結果を併記している。図を見ると，PTEM のまとまりが最も良く，最もばらつくのが DPM である。また，TTM や DPM が低速での外挿域においては，フィッティングの線が予測値とは異なっている。4 次のべき多項式に対するフィッティングの精度を見るため，図において決定係数(R^2)を示している。PTEM は，同じ航走数であっても得られる修正点が多いので，傾向がとらえやすく，決定係数は最も 1.0 に近い。TTM の伝達馬力の決定係数は，PTEM のそれと同程度であるが，プロペラ回転数の決定係数はやや劣る。DPM は，他の 2 つの方法と比べて，決定係数が約 0.85 とやや小さく，修正結果のまとまりが悪い。PTEM は，外乱による抵抗増加や対水速度の情報が不要にもかかわらず，解析結果は最もばらつきの少ないものとなり，速力試運転解析法として有望であることが分かった。

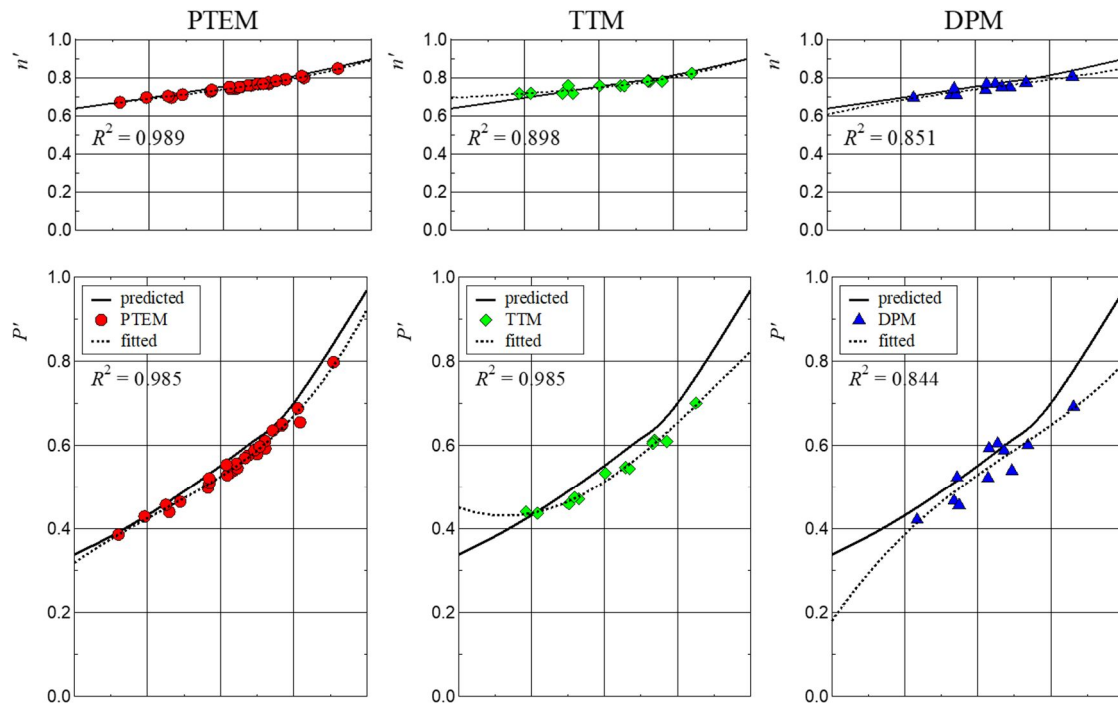


Fig.2 Corrected propeller revolution and delivered power for a full-scale tanker by different correction methods

参考文献

- [1] 谷口 中, 田村欣也: 風圧抵抗修正の新しい方法について, 西部造船会々報 第 18 号 (1959), pp.21-34.
- [2] ITTC, ITTC Recommended Procedure 7.5-04-01-01.1 Speed and Power Trials, Part 1, Preparation and Conduct, MEPC 65/INF.7 (2013).
- [3] ISO15016, Guidelines for the Assessment of Speed and Power Performance by Analysis of Speed Trial Data (2015).
- [4] Yasukawa, H., Wind and Current Correction Methods for Speed Trial Analysis of Ships, Ship Technology Research, Vol.62, No.3 (2015), pp.173-185.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 安川宏紀, 伊藤有紗	4. 巻 27
2. 論文標題 船の速力試運転解析法の検証	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会論文集	6. 最初と最後の頁 67-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasukawa, H.	4. 巻 66
2. 論文標題 Speed Trial Analysis Method Eliminating the Need for External Disturbance Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ship Technology Research.	6. 最初と最後の頁 135-149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09377255.2019.1633777	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 石川貴浩, 安川宏紀, 芳村康男, 松田秋彦
2. 発表標題 大斜航・旋回状態における船体流体力モデル
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会論文講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤有紗, 安川宏紀
2. 発表標題 船の速力試運転解析法の検証 - プロペラ荷重度による自航要素の変化を考慮できる新しい試運転解析法 -
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会論文講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasukawa, H.
2. 発表標題 A Speed Trial Analysis Method that Eliminates the Need for External Disturbance Data
3. 学会等名 SOS technical committee, International Towing Tank Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐野 将昭 (Sano Masaaki) (40582763)	広島大学・工学研究科・助教 (15401)	
研究分担者	平田 法隆 (Hirata Noritaka) (80181163)	広島大学・工学研究科・助教 (15401)	