

中水槽の推進性能試験における不確かさ評価

粉原 直人*

Uncertainty Assessment for Ship Propulsion Tests in 150m Towing Tank

by

SOGIHARA Naoto

Abstract

National Maritime Research Institute (NMRI) has been setting an establishment of the advanced methods for evaluating ship performance in actual seas based on model tests and theories in its long-term vision. In the vision, 150m Towing Tank is expected as an experimental tank for realizing a comprehensive evaluation of the ship performance in conjunction with actual model ship basin and ice tank in NMRI, using medium-size model ships whose length are 4 to 5 meters. To establish the comprehensive evaluation, test accuracy should be clarified quantitatively. In terms of the test accuracy for evaluating ship propulsive performance in still water, uncertainty assessment is conducted on the basis of the results of repeated resistance and self-propulsion tests, which are reported in this paper.

* 流体設計系実海域性能研究グループ

原稿受付 令和4年10月12日

審査日 令和4年11月7日

目 次

1. はじめに	20
2. 繰り返し試験による不確かさ評価	20
2.1 不確かさ評価の概要	20
2.2 繰り返し試験による不確かさ評価結果	21
3. おわりに	23
References	23

1. はじめに

海上技術安全研究所流体設計系はその中長期ビジョンにおいて、水槽試験・理論解析による実海域性能の高度推定技術の確立を掲げている、その中で三鷹第三船舶試験水槽（中水槽）は、実海域再現水槽及び氷海再現水槽と連携した中型模型（船長4~5m）による推進・波浪中・氷海性能の総合評価を実現する試験設備として位置づけられている。本稿では、中型模型による総合評価の第一歩として、推進性能試験における試験精度検証の観点から、抵抗試験、自航試験に関する繰り返し試験を実施し、不確かさ評価を行った結果を報告する。

2. 繰り返し試験による不確かさ評価

2.1 不確かさ評価の概要

推進性能試験への不確かさ評価の適用については、過去にはアメリカ機械学会性能試験規約の基本方針に基づいた評価例として、抵抗試験への不確かさ解析の適用例を示した姫野らの研究¹⁾、不確かさ解析の抵抗試験、自航試験への適用例を示した西尾らの研究²⁾、抵抗試験、自航試験に加え船体表面圧力計測、伴流計測における不確かさ評価を実施した久米らの研究³⁾がある。アメリカ機械学会性能試験規約の基本方針の方法では、計測値に含まれる誤差は真値に対する一定の誤差として定義される偏り誤差と繰り返し試験における偶然誤差の和として定義され、不確かさは偏り誤差の上限に対する推定値と繰り返し試験結果に基づく標準偏差に基づいて評価される。一方、近年では不確かさを「真値の候補」として扱う国際標準化機構(International Organization for Standardization, ISO)のGuide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM)⁴⁾が利用されることが多く、国際試験水槽会議(International Towing Tank Conference, ITTC)においても、GUMの考え方に従った推奨手順⁵⁾が示されている。著者らはこれまでに平水中抵抗計測及び短波長規則波中抵抗増加計測に関する繰り返し試験を複数の水槽で行い、その結果を用いてGUMに従って不確かさ評価を実施し水槽間で比較した結果を報告している⁶⁾。Park et al.は、規則波中における船体運動、抵抗増加計測に対しGUMに基づいて不確かさ解析を行い、その不確かさ要因について考察している⁷⁾。

本報告においてもGUMに準拠して不確かさ評価を実施した。不確かさ評価においては、評価対象に及ぼす影響因子を列挙し、影響因子の不確かさをそれぞれ評価して合成することにより、対象の不確かさを評価することとなる。GUMは評価方法を2つに分類している。一つは「Aタイプ評価」であり、これは同一条件下での繰り返し試験により得たデータに基づいた評価を指しており、多くの場合は母集団の正規分布を仮定し標準偏差により同定される。もう一つは「Bタイプ評価」であり、繰り返し試験以外の手段により得られる情報に基づいた評価である。Bタイプ評価では、例えば計測機器の検定証書、試験設備の経験値、過去の測定結果等の情報に基づき、一様分布などの確率分布を仮定して不確かさを評価する。

GUMの方法では、Aタイプ評価、Bタイプ評価のそれぞれを行い、合成することにより不確かさを評価するが、今回の繰り返し試験では同一の試験装置を用いて実施し、適切な容量の装置を導入していることからBタイプ

ブ評価を考慮せず，Aタイプ評価により不確かさを評価した．抵抗・自航要素の計測では時々刻々の瞬時値ではなく，一定期間における平均値に基づいて評価される． N 回の試験を行い， i 回目の試験における平均値を X_i とすると，繰り返し試験での標準偏差 σ_X は以下の通り計算できる，

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (2-1)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (2-2)$$

本稿では，計測の不確かさを示すパラメータとして変動係数 CV を定義する．変動係数の定義を(2-3)式に示す．

$$CV = \frac{\sigma_X}{\bar{X}} \quad (2-3)$$

2.2 繰り返し試験による不確かさ評価結果

今回の繰り返し試験で使用した船型は 33,000DWT 型ケミカルタンカーである．模型船及び模型プロペラの主要目を表 2-1 に，試験の様子を図 2-1 に示す．

表 2-1 主要目（模型船，模型プロペラ）

模型船		模型プロペラ	
垂線間長	6.20m	直径	0.24m
船幅	1.01m	ピッチ比	0.65
喫水	0.36m	展開面積比	0.55
浸水表面積	9.53m ²	翌数	4
排水容積	1.81m ³	ボス比	0.16



図 2-1 試験の様子

本研究における繰り返し試験は，同日中に同条件で，試験間隔を 15 分として実施している．また，抵抗試験，自航試験ともに試験の再現性を維持するため自動計測システムを使用している．

(1) 抵抗試験

試験船速 V を 0.785m/s, 1.501m/s の 2 種類として抵抗試験を行った．繰り返し回数を $N=16$ とし，不確かさ評価対象パラメータを抵抗係数 C_T とした．抵抗係数 C_T の定義を(2-4)式に示す．

$$C_T = \frac{R}{\frac{1}{2}\rho S V_w^2} \quad (2-4)$$

ここで、 R ：抵抗， ρ ：水槽水密度， S ：浸水表面積， V_w ：対水流速である．表 2-2，図 2-2 に不確かさ評価結果を示す．抵抗係数の不確かさはそれぞれ 0.21%，0.38%となった．

表 2-2 不確かさ評価結果（抵抗係数）

	平均値	標準偏差	不確かさ（変動係数）
$V=0.785$	4.158	8.793×10^{-3}	0.21%
$V=1.501$	4.019	1.541×10^{-2}	0.38%

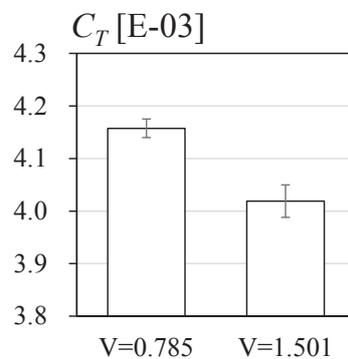


図 2-2 不確かさ評価結果（抵抗係数）

抵抗計測試験中の船首沈下量 d_f ，船尾沈下量 d_a についても同様に不確かさ評価を行った結果を表 2-3，図 2-3 に示す．

表 2-3 不確かさ評価結果（抵抗試験）

	船首沈下量			船尾沈下量		
	平均値 [mm]	標準偏差 [mm]	不確かさ (変動係数)	平均値 [mm]	標準偏差 [mm]	不確かさ (変動係数)
$V=0.785$	5.49	4.558×10^{-2}	0.83%	1.69	4.450×10^{-2}	2.64%
$V=1.501$	22.39	1.890×10^{-1}	0.84%	6.01	8.486×10^{-2}	1.41%

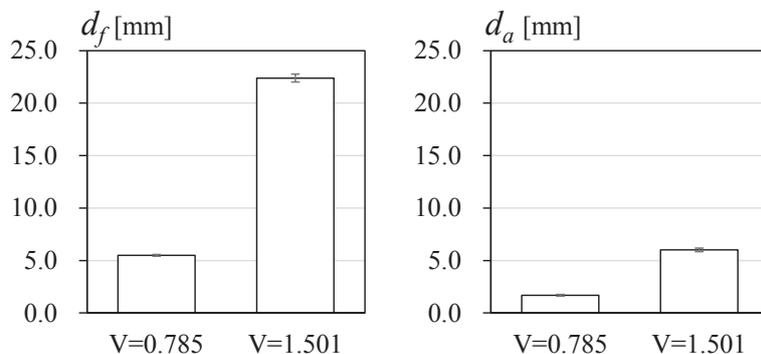


図 2-3 不確かさ評価結果（船首沈下量，船尾沈下量）

(2) 自航試験

試験船速を 1.501m/s として自航試験を行った。繰り返し回数を $N=16$ とし、不確かさ評価対象パラメータを推力減少係数 ($1-t$)、有効伴流係数 ($1-w_T$)、プロペラ効率比 η_R とした。これらの定義を(2-6)~(2-8)式に示す。

$$1-t = \frac{R_{TM} - F}{T} \tag{2-6}$$

$$1-w_T = \frac{nDJ}{V} \tag{2-7}$$

$$\eta_R = \frac{K_{Q0}}{K_Q} \tag{2-8}$$

ここで、 R_{TM} ：プロペラがないときの抵抗、 F ：曳航力、 T ：スラスト、 n ：プロペラ回転数、 D ：プロペラ直径、 J ：プロペラ前進定数、 K_Q ：自航試験時のトルク係数、 K_{Q0} ：プロペラ単独時のトルク係数である。表 2-4、図 2-4 に不確かさ評価結果を示す。推力減少係数、有効伴流係数、プロペラ効率比の不確かさはそれぞれ 0.36%、0.10%、0.07%となった。

表 2-4 不確かさ評価結果（自航要素）

	平均値	標準偏差	不確かさ（変動係数）
推力減少係数	0.830	3.013×10^{-3}	0.36%
有効伴流係数	0.627	6.511×10^{-4}	0.10%
プロペラ効率比	0.993	7.406×10^{-4}	0.07%

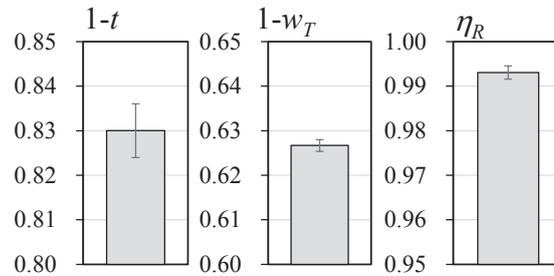


図 2-4 不確かさ評価結果（自航要素）

不確かさ評価により不確かさを定量化すると、次にどの程度の不確かさに維持するか議論が生じる。この点については、抵抗係数や自航要素の不確かさが馬力推定に及ぼす影響を見ながら判断することが重要となる。また、不確かさを他水槽と比較することも有効であり、今後、本稿で示した中水槽で得られた不確かさと、三鷹第二船舶試験水槽（400m 水槽）での不確かさ評価の結果を比較、検証する予定である。

3. おわりに

海上技術安全研究所の中水槽は、流体設計系の中長期ビジョンにおける中型模型を用いた船舶の総合性能評価の中で、推進性能を評価する試験設備として位置づけられている。平水中の推進性能は実海域性能を評価する上で必要不可欠であり高い試験精度が要求されるため、精度管理及び、精度維持のための水槽運営が求められる。

不確かさ評価は水槽試験における精度を定量化する上で有効な手法である。本稿では抵抗試験、自航試験に関する繰り返し試験を行い、GUM の考え方をベースに簡易的に不確かさ評価を実施した結果を示した。今後も引き続き不確かさ評価に基づいた試験精度の維持に努め、船舶の総合性能の評価を目的とした水槽試験の実現に向け尽力していく所存である。

References

- 1) 姫野洋司, 西尾茂, 高松健一郎: 抵抗試験における不確かさ解析の応用, 関西造船協会誌, 第 214 号 (1990), pp.39-47.
- 2) 西尾茂, 姫野洋司, 高松健一郎: 不確かさ解析の抵抗・自航試験への応用, 関西造船協会誌, 第 216 号 (1991), pp.51-64.
- 3) 久米健一, 平田信行, 長谷川純, 塚田吉昭, 日夏宗彦: 船型試験における不確かさ解析法, 船舶技術研究所報告, 第 37 巻, 第 5 号, 2000.
- 4) International Organization for Standardization: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995
- 5) International Tank Test Committee – Recommended Procedures: Guide to the Expression of Uncertainty in Experimental Hydrodynamics, 7.5-02-01-01, 2014.
- 6) N. Sogihara, M. Tsujimoto, R. Fukasawa, T. Hamada: Uncertainty Analysis for Measurement of Added Resistance in Short Regular Waves: Its Application and Evaluation, Ocean Engineering, Vol. 216, 2020.
- 7) D. M. Park, J. lee, and Y. Kim: Uncertainty analysis for added resistance experiment of KVLCC2 ship, Ocean Engineering, Vol. 95, pp.143-156, 2015.