

# PS-16 低速時の舵効き修正を考慮した自由航走模型試験法と 自動着棧アルゴリズム検証への適用実験

流体性能評価系 \* 北川 泰士、塚田 吉昭

## 1. 研究背景

本研究は、昨今多方面で研究開発が促進されている自動離着棧技術の検証手法に関するもので、縮尺模型船を用いた自由航走試験による手法の開発を目的としたものである。自由航走模型試験では実船試験と同様に制御による船体平面運動の挙動を計測値として直接取得できるため評価し易いが、模型船と実船の間にはレイノルズ数の差に起因する尺度影響が存在するため、Model-point を前提とする一般的な自由航走試験から得られた挙動は実船相似のものではない。そこで本研究では、自由航走模型試験による実船相当の自動離着棧アルゴリズム検証を実現するため、実船の低速時の舵効きを模型船で与えることで、実船と相似な港内操縦運動を再現できる模型試験法を開発した。なお、本報では紙面の都合で適宜詳細を割愛しているため、参考文献<sup>1)</sup>も参照願う。

## 2. 低速時の舵効き修正を考慮した自由航走模型試験法

### 2.1 船速舵効き修正法

本研究で開発した模型試験法は Ueno らが開発した船速舵効き修正法<sup>2)</sup> (以降、RSC 法) の定式化を拡張したものである。本項ではその概要を説明する。

RSC 法は、フルード相似則において相似な操縦運動をする実船と模型船を想定して、MMG モデル<sup>3)</sup>に基づいた尺度影響の考慮により、前後方向へ補助推力を付加できる装置を搭載している模型船を前提に、実船と相似な操縦運動を実現させる模型船プロペラ回転数と補助推力量の制御方法である。具体的には、実船と相似な舵有効流入速度を再現するようにプロペラ回転数を与え、粘性抵抗と推力の差を補正するように補助推力量を与える、の2点が特徴である。

### 2.2 低速時の舵効きを考慮する方法

実船と相似な港内操縦運動を再現する模型試験法を開発するに当たり RSC 法の活用は有力である。一方で、Ueno らの定式化は計画速力等の一定の速力下で前進している状況を前提としており、港内操船の状況下に対してそのまま適用できるわけではない。そこで本研究では RSC 法の定式化を拡張することで実船と相似な港内操縦運動を再現できる自由航走模型試験法を開発した。(以降、拡張 RSC 法) 具体的には、船速が正 (船体が前進) かつプロペラが正転の状況下のみならず、船速が正から極低速 (船体が停止) 及び負 (船体が後進) の状況において、プロペラが正転時及び逆転時、これらの状況下に対応できるよう MMG モデル中の舵有効流入速度モ

デルを適切に考慮して、実船と相似な舵への有効流入速度を模型船で再現できるようにした。

### 2.3 風荷重模擬装置による風外乱の付与

実際の離着棧操船時には風や潮流による外乱を受けるため、自由航走模型試験においても実船相当の外乱を与えられればより実際に即した条件で自動離着棧アルゴリズムの検証が可能となる。ここで、海上技術安全研究所では実船相当の風圧力を模型船に与えることができる風荷重模擬装置<sup>4)</sup>を開発している。この装置は、RSC 法の構成要素の一つとなる補助推力量付与と併せて、船体の前後・左右・回頭の方向へ実船と相似な風圧力に相当する補助推力を与えるものである。本装置を活用することにより想定風環境中の自動離着棧が検証できることになる。図1に本研究の対象船に設置した風荷重模擬装置を示す。



図-1 風荷重模擬装置の設置例 (左: 船首部, 右: 船尾部)

### 2.4 自動離着棧アルゴリズム検証のための具体化

実船の自動離着棧では制御のための入力情報として、船体平面運動 (船速や方位) ・船体位置 ・アクチュエータの現在値、等は最低限必要であると想定され、外乱状況の把握のためには風向風速計なども利用されることが予想される。よって、自由航走模型試験においても同様の入力情報が確保できることは前提である。ここで、本研究で提案する拡張 RSC 法を用いれば実船相当の低速時操縦運動を再現できるが、自動離着棧の制御アルゴリズムの適用について具体的に述べる。

まず、実船尺度のアルゴリズムから出力された主機回転数の指令信号は拡張 RSC 法においては実船相当の舵有効流入速度を再現する模型船のプロペラ回転数として時々刻々与えられる。また、舵角の指令信号は、拡張 RSC 法では舵角の尺度影響は無視できるため、模型船の舵角は指令信号通りに制御すればよい。勿論、実機の指令信号に対する応答特性を時定数等で表現できるならフルード相似則で模型尺度の挙動を再現した方がよく、実船の制御周期が判明しているなら同

様に模型尺度での短い制御周期で実験時の制御を行うべきである。

### 3. 自動着棧アルゴリズム検証のための適用実験

#### 3.1 実験概要と対象船

本研究では拡張 RSC 法を適用して Sawada らが提案した自動着棧アルゴリズム<sup>5)</sup>を検証する試行実験を行った。Sawada らのアルゴリズムは小型船による実船試験で実証済みであり、本実験では比較的大型の供試船を対象として制御パラメータ設定などの検証を試行する。実験施設は海上技術安全研究所の実海域再現水槽である。本水槽における自由航走試験では2.4項で説明した船体平面運動や位置は曳引台車システムにより計測することが可能である。

本実験の対象船は 33000DWT のケミカルタンカーであり、実船の垂線間長は 170.5m で模型船では 3.9m、縮尺は 1/43.7 である。拡張 RSC 法に必要な流体力特性は拘束模型試験により求めた。

#### 3.2 実験結果～制御パラメータの挙動検証

本実験ではまず Sawada らが小型船で実証したアルゴリズムの制御パラメータを設定して外乱の無い平水中の挙動を検証した。その後、ビューフォート風力階級 6 相当の一樣風中の外乱下を想定し、風荷重模擬装置により平水中で成功した制御パラメータ設定による挙動を風外乱下で検証した。

以降、紙面の都合で概略的に結果を解説する。まず、図 2 に最終的に設定した経路(Path, 図中の黒点線)と実験によって取得した航跡を示す。この座標系原点が目標停止位置で、方位 90 度(図の右向き)で停止させるシナリオである。平水中の検討では、まず小型船で成功した制御パラメータでは船長が 10 倍強の対象船では成功せず、慣性系の大きさの違いや舵効きが相対的に低いことが失敗の要因と結論付けられた。その後、平水中で目標位置に方位 90 度で停止可能な制御パラメータ設定を模型実験の試行のみで探索し、その設定で風外乱下の挙動検証を行った。結果、風向 0 度、90 度及び 270 度では風圧力により経路追従ができず、風向 180 度では最後に右舷から風を受け漂流し、風外乱下では成功することがなかった。そのため、風荷重を考慮した制御方策は必須であると言える。

以上の知見や考察は至極当然なものも含まれるが、本試験法は実船相似な港内操縦運動が再現できるものであるため、模型実験から実船相当の知見が得られると言え、有用な手法であると言える。

### 4. まとめ

本研究では低速時の舵効きを考慮することで実船の港内操縦運動を再現できる自由航走模型試験法を開発した。そして、小型船で実証された自動着棧アルゴリズムに対して、この試験法を適用することで、別の供試船を対象に自動着棧が成功する制御パラメータの検証を行った。開発した試験法は自動着棧アルゴリズムの検証に有用と考えられ、以降もこれ

ら検証に繋げていきたい。

### 謝辞

本研究の一部は国土交通省の先進船舶技術研究開発支援事業の一環として実施しました。関係各位に深く感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 北川泰士, 他: 実船の港内操縦運動を再現するための模型試験法の開発と自動着棧アルゴリズム検討への適用, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 32 号 (2021), pp. 63-68.
- 2) M. Ueno, Y. Tsukada: Rudder effectiveness and speed correction for scale model ship testing, Ocean Engineering, Vol.109 (2015), pp. 495-506.
- 3) 例えば, H. Yasukawa, Y. Yoshimura: Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions, Journal of Marine Science and Technology, Vol.20 (2015), pp. 37-52.
- 4) 塚田吉昭, 鈴木良介, 上野道雄: 風荷重模擬装置の開発と実海域環境下の自由航走模型試験, 海上技術安全研究所報告, 第 17 巻 第 3 号 (2018), pp. 167-186.
- 5) R. Sawada, K. Hirata, et al.: Path following algorithm application to automatic berthing control, Journal of Marine Science and Technology, (2020).

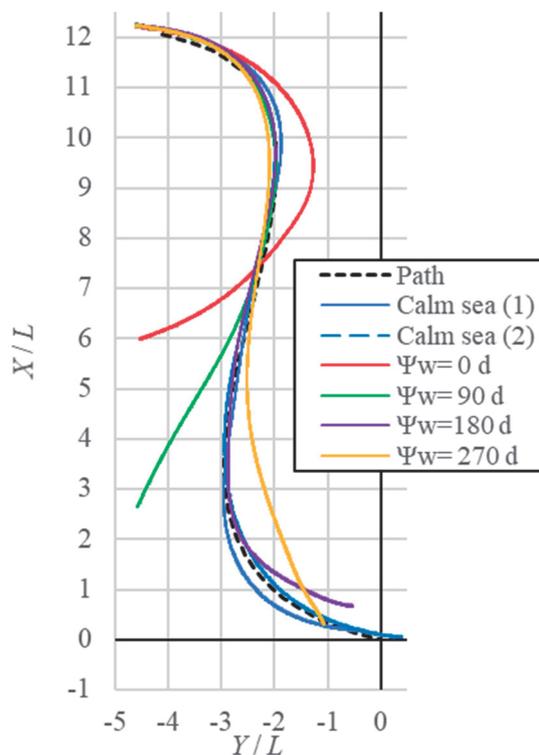


図-2 拡張 RSC 法を適用した模型実験による Sawada らの自動着棧アルゴリズム検証実験による無次元航跡(風向( $\Psi_w$ )0 度: 座標系内で下向き, 90 度: 右向き)