

PS-4 荒天時の走錨リスクの低減に向けて

流体性能評価系 * 宮崎 英樹, 田口 晴邦

1. はじめに

気候変動の影響でここ数年は台風の日本への接近数や上陸数が増加する傾向が見られる。上陸数は2018年と2019年はそれぞれ5件と統計上5番目に多い年となっている。このうち、2018年の台風21号では大阪湾内で錨泊していた内航船が走錨し、関西国際空港の連絡橋に衝突して大きな被害をもたらした。また、2019年の台風15号では横浜港沖に錨泊していた外航船が走錨し、南本牧の臨界道路に衝突するなど事故が後を絶たない。荒天時の走錨のリスクを避けるために、排水量の大きい外航船は港湾外への退避が求められる。しかし、排水量の比較的小さい内航船などは港湾内で錨泊することが多い。

関西国際空港連絡橋への内航船の衝突事故に関して運輸安全委員会の事故調査報告書¹⁾では、事故再発防止策として、錨地の選定、錨泊中の安全性の確認、操船方法等、船長の所為について種々の指摘を行っている。船長が走錨のリスクを正しく認識し、安全な錨泊を実施するためには、適切な参考情報(安全錨泊支援情報)の提供が重要になると考えられる。

そこで当所では、港湾内で錨泊する船舶が船上で入手できる気象・海象情報、水深や底質などの錨泊地情報、主要目などの船舶の情報を入力データとして、走錨のリスクを判定し、適切な錨泊方法を提示するシステムの開発を行っている。本報では、当該システムの中核をなす、投錨した状態の船舶の振れまわり運動を推定するプログラム(以下、本プログラムと言う。)の概要について説明する。

2. 船体の振れまわり運動の推定

2.1 船体運動方程式

船体の振れまわり運動の推定では、船体運動を平面内の運動として取り扱うこと^{2),3),4)}が一般的である。本プログラムでもこの考え方を踏襲し、船体運動は平面運動と仮定し、また、錨鎖張力による船体の姿勢変化は考慮しないこととした。

図1の座標系(空間固定座標系: $O_0-x_0y_0$, 船体固定座標系: $G-xy$)において、船体の振れまわり運動の運動方程式は(1)式のように書ける。

$$\begin{cases} (m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr = X \\ (m + m_y)\dot{v} - (m + m_x)ur = Y \\ (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} = N \end{cases} \quad (1)$$

ここで、

- u, v, r : 船速 U の x, y 軸方向成分及び回頭角速度
- m, m_x, m_y : 船の質量及び x, y 軸方向の付加質量
- I_{zz}, J_{zz} : 重心まわりの回頭運動に関する慣性モーメント及び付加慣性モーメント
- X, Y, N : 船体に作用する外力の x, y 軸方向成分及び回頭モーメント

また、本プログラムでは(1)式の右辺の外力としては(2)式に示す成分を考慮している。

$$\begin{cases} X = X_H + X_P + X_A + X_W + X_T \\ Y = Y_H + Y_A + Y_W + Y_T \\ N = N_H + N_A + N_W + N_T \end{cases} \quad (2)$$

ここで、添字の H, P, A, W, T はそれぞれ船体に作用する流体力、プロペラ推力、風圧力、波漂流力及び錨鎖の張力を表しており、その推定法を2.2節に示す。

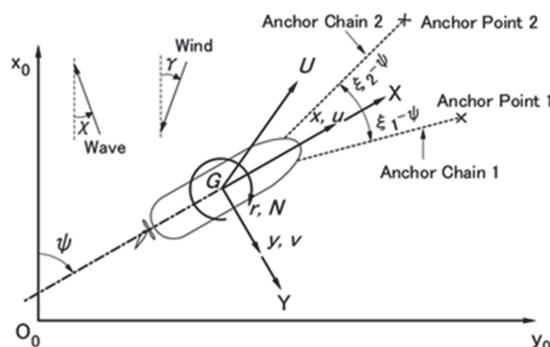


図1 座標系⁵⁾

2.2 外力項

船体に作用する流体力の内、 x 軸方向成分 X_H は、海上技術安全研究所で開発した“HOPE Light”⁶⁾での推定結果を適用している。また、流体力の y 軸方向成分及び回頭モーメント Y_H, N_H については、高品により提案された低速時操縦運動の数学モデル⁷⁾を適用している。本モデルは横流れ角 (β) と無次元回頭角速度 (r') について広範な運動を表現できるもので、前進速度がほとんど無い振れ回り状態での船体運動の推定には適当と考える。なお、本プログラムでは、現状、タンカー模型を用いた水槽試験結果から得られた流体力係数を使用している。

プロペラ推力 X_P としては、プロペラ主要目からプロペラの単独性能の推定⁸⁾した結果を使用している。

船体に働く風圧力 X_A, Y_A, N_A の推定に必要な風圧力係数については、藤原らにより提案された推定式⁸⁾を適用し、一般配置図から必要なデータを読み取り入力データとしている。

船体に働く波漂流力 X_w, Y_w, N_w については、上野らにより提案された推定プログラム⁹⁾を適用して、計算対象の船種、船長幅比、幅喫水比を入力した結果を使用している。

なお、錨鎖張力 (X_T, Y_T, N_T) は貴島が用いた推定法⁵⁾を適用している。本推定法では錨鎖はアンカー位置とベルマウス位置を通る鉛直面内に存在するものと仮定し、船舶に働く錨鎖張力以外の外力が錨鎖張力と釣り合うものとして錨鎖張力の各成分を求めている。

2.3 計算結果の一例

本プログラムを用いた計算結果の一例を図2に示す。図2は498GT油タンカーを対象として、標準的な錨と錨鎖を使用した双錨泊時(錨鎖長:175m, 開き角:60度)の船体の振れまわり運動の推定結果である。計算条件は風速40(m/s), 波長が40(m), 波高が3(m)としている。図の縦軸は振れまわり運動時の前後方向の移動量を船長で無次元化した値で、横軸は左右方向の移動量を無次元化した値である。

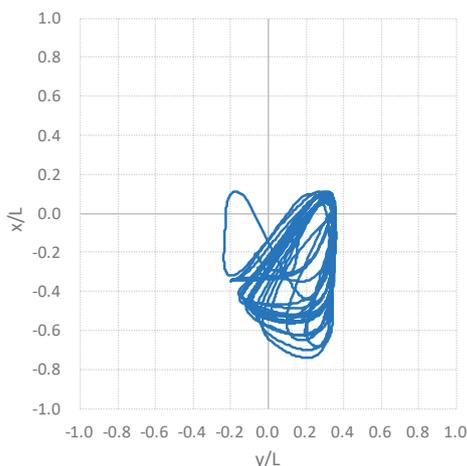


図2 錨泊中の航跡の計算例(498GTタンカー, 双錨泊)

図2に示すように上記の計算条件では本船は定常的な振れまわり運動を行っていることが確認された。一方、同じ気象海象条件で単錨泊とした場合には走錨する結果となり、本船が走錨のリスクを回避するためには双錨泊を行う必要があると言える。

3. 外力の推定精度の向上

荒天時に港湾内で錨泊する船舶は内航船が大半である。しかし、本プログラム内で適用している船体に働く流体力の推定式は外航タンカーを用いた水槽試験結果をもとに構築されたものであり、内航タンカーやフェリーなどの痩せ型船型への適用の妥当性は検証されていない。また、船体に働く波漂流力の推定プログラムも内航船への適用の妥当性は検証されていない。

そこで、本年度、内航船の肥大船型と痩せ型船型モデルを用

いて、低速時の操縦流体力の計測と停船時の波漂流力の計測を行う水槽試験を実施し、操縦流体力については計測結果を用いて高品の論文を参考に新たな推定式を構築するとともに、波漂流力については内航船への適用の妥当性を確認し、必要に応じて推定プログラム内で使用している母集団の改良を行う予定である。

また、錨鎖張力の推定についても、静的なカタナリー計算法やLumped Mass法などを適用して精度の向上を図ることを検討している。

4. まとめ

現在開発を行っている、荒天時の錨泊の走錨リスクを判定するとともに適切な錨泊方法を提示するシステムの中核をなす、船体の振れまわり運動の推定プログラムの現状と今年度実施する水槽試験に基づく外力推定に関する改修内容について概要を説明をした。

開発中のシステムは、安全な錨泊を実施するために、船長や乗組員が錨泊地や錨鎖の伸出量を選定する際に必要な情報を提供することを目的としている。そのため、今後システム構築を行う過程で、より多くの船舶で活用してもらうために、想定する使用者である内航船の船長等の要望を取り入れて使い勝手の良いGUIを備えたものにしたいと考えている。

参考文献

- 1) 運輸安全委員会:船舶事故調査報告書, MA2019-4-2(2019)
- 2) 藤井正隆, 牧岳彦:単錨泊時の潮流による船体振れまわり運動の実用的計算法, 日本造船学会論文集, 第154号(1983), pp. 295-304.
- 3) 貴島勝郎, 孝岡祐吉:浅水域における単錨泊時の船体振れまわり運動について, 西部造船会々報, 第73号(1986), pp. 44-53.
- 4) 久々宮久, 小林弘明, 藤岡善計:走錨予測に関する一考察, 日本航海学会論文集, 第79巻(1988), pp. 169-175.
- 5) 貴島勝郎:特別寄稿「台風下における内航船の錨泊に関する検討」, 海難分析集 No. 6「台風と海難」(2006)海難審判庁, pp. 88-107.
- 6) 一ノ瀬康雄, 久米健一:船型要目最適化プログラム HOPE Light, 海上技術安全研究所報告, 第15巻第4号(2016), pp. 13-25.
- 7) 高品純志:タグによる操縦運動とその計算法について, 日本造船学会論文集, 第160号(1986), pp. 98-102.
- 8) 藤原敏文, 上野道雄, 池田良穂:成分分離型モデルを利用した新しい風圧力推定法, 日本船舶海洋工学会論文集, 第2号(2005), pp. 243-255.
- 9) M. Ueno, S. Ohmatsu and S. Chiaki: Estimation Program for Steady Wave Loads on Ships at Zero Forward Speed Using Database, 海上技術安全研究所報告, 第16巻第3号(2017), pp. 43-52.