

## 走錨リスク判定システムの開発

宮崎 英樹\*, 河村 昂軌\*, 田口 晴邦\*

### Development of Support System for Selecting Appropriate Anchoring Method and Anchorage Area

by

MIYAZAKI Hideki, KAWAMURA Koki, TAGUCHI Harukuni

#### Abstract

When a ship is at anchor during a typhoon and high winds, a slewing motion may be induced, causing extreme tension in the anchor chain. When the chain tension exceeds the maximum mooring force of the anchor and the chain, the anchor is at risk of dragging. To prevent anchor dragging accidents, we developed a support system to assist in the selection of the appropriate anchoring method and anchorage area. We carried out numerical simulations of the slewing motions, taking into account hydrodynamic forces, wave drift force, and wind load, to compare the anchor chain tension and the maximum mooring force during slewing. This paper describes an overview of this support system.

---

\* 流体性能評価系

原稿受付 令和5年2月2日

審査日 令和5年3月6日

## 目 次

1. 研究概要	52
2. 運動方程式	52
2.1 各種外力の表現	53
(1) 船体に作用する流体力	53
(2) プロペラ推力	53
(3) 風圧力	54
(4) 波漂流力	55
(5) 錨鎖の張力	55
(6) 錨及び錨鎖の係駐力計算	57
3. GUI について	58
3.1 入力データ	58
3.2 走錨リスク推定結果	60
3.3 PC 版と Web アプリ版	61
4. 走錨リスクの推定	61
4.1 風速の違いによる影響	62
4.2 波の違いによる影響	63
4.3 錨鎖方法の違いによる影響	63
4.4 錨鎖の伸出量の違いによる影響	64
5. 結論	65
謝辞	66
References	66

## 1. 研究概要

走錨リスク判定システムは船舶情報や錨泊地情報，気象・海象情報を入力データとして，走錨の可能性の指標となる走錨リスクの判定を行うものである．本システムでは入力データを基に錨泊中の船体の振れ回り運動のシミュレーション計算を行っており，外力項として船体に働く風圧力や波漂流力，操縦流体力，錨鎖張力を考慮している．本シミュレーション計算で推定される振れ回り運動中に生じる錨鎖張力と錨・錨鎖で確保される最大係駐力を比較することで走錨リスクの判定を行っている．

## 2. 運動方程式

振れ回り運動の推定に用いる運動方程式は，水平面内の3自由度の船体運動（前後・左右・回頭運動）を対象としたものとする．

図1に示す座標系における水平面内の船体運動を表す運動方程式は(1)式のように表した．

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

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  $x, y$  軸方向成分ならびに回頭モーメント

(1)式の右辺の外力は以下のような成分を考慮した.

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

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いる。なお、本計算においては、舵力については考慮していない。また、水平面内での船体運動のみを取り扱っているので、ピッチングやヒービング、ローリングによる錨鎖への影響は考慮していない。

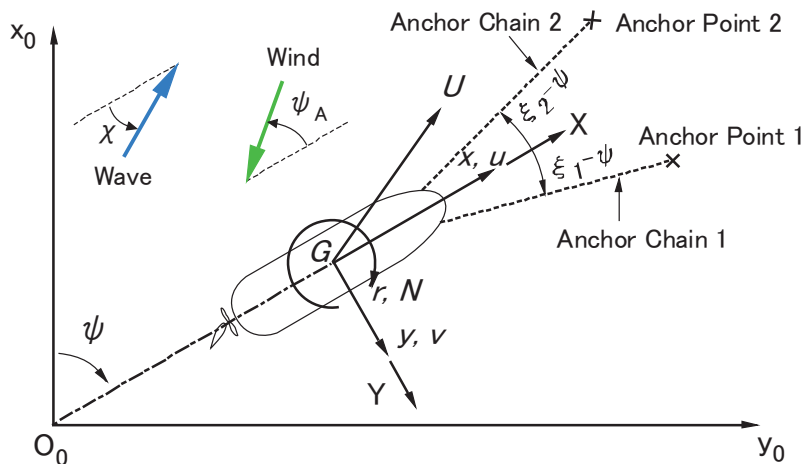


図1 運動方程式の座標系

## 2.1 各種外力の表現

### (1) 船体に作用する流体力

船体に作用する流体力  $X_H$  は、内航タンカー及び内航フェリー模型を用いて行った水槽実験（抵抗試験）で得られた計測結果を解析して適用した。また  $Y_H, N_H$  は、内航タンカー及び内航フェリー模型を用いて行った水槽実験（操縦流体力の計測）で得られた計測結果に高品質により提案された低速時操縦運動の数学モデルを適用して解析を行い、適用した。

### (2) プロペラ推力

プロペラ推力は MAU プロペラの単独性能の多項式近似を用いて推定を行っている。水槽試験結果と多項式近似との比較を図2に示す。

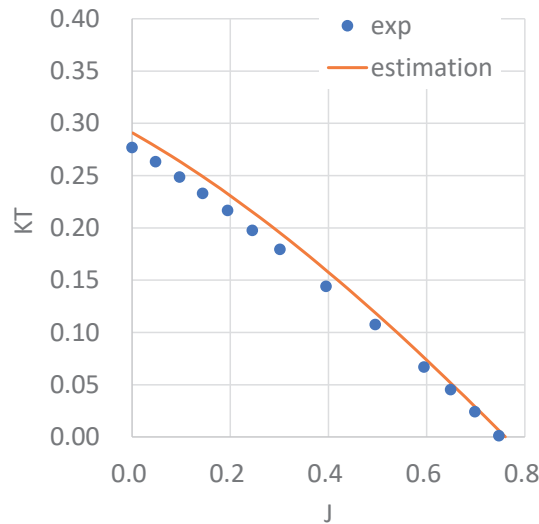


図2 水槽試験結果と MAU プロペラの単独性能の多項式との比較

### (3) 風圧力

船体に働く風圧力は藤原ら<sup>2)</sup>により提案された推定式を用いた。風圧力 $X_A, Y_A, N_A$ については、(3)式のように表した。

$$\left. \begin{aligned} X_A &= \frac{1}{2} \rho_a A_F V_A^2 C_X \\ Y_A &= \frac{1}{2} \rho_a A_L V_A^2 C_Y \\ N_A &= \frac{1}{2} \rho_a L_{OA} A_L V_A^2 C_N \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで、 $\rho_a$ は空気の密度、 $V_A$ は見掛けの風速、 $L_{OA}$ は船の全長、 $A_F, A_L$ は水面上の船体の正面投影面積及び側投影面積である。また $C_X, C_Y$ はx,y軸方向の風圧力係数、 $C_N$ はz軸まわり風圧モーメント係数である。ここで、 $C_{LF}$ は主流方向の抗力係数、 $C_{XLI}$ は誘導抗力の前後方向成分の係数、 $C_{ALF}$ は揚力の前後方向成分の係数、 $C_{CF}$ はクロスフロー抗力係数、 $C_{YLI}$ は揚力及び誘導抗力の横方向成分の係数である。 $\psi_A$ は相対風向角を表し、船首から反時計回りを正とする。風圧力の推定に必要な値は、「走錨リスク判定システム」の「船体情報」で入力された値を用いる。

$$\begin{aligned} C_x(\psi_A) &= F'_{LF} + F'_{XLI} + F'_{ALF} \\ &= C_{LF} \cos \psi_A \\ &\quad + C_{XLI} \left( \sin \psi_A - \frac{1}{2} \sin \psi_A \cos^2 \psi_A \right) \cdot \sin \psi_A \cos \psi_A \\ C_y(\psi_A) &\quad + C_{ALF} \sin \psi_A \cos^3 \psi_A \\ &= F'_{CF} + F'_{YLI} \\ &= C_{CF} \sin^2 \psi_A + C_{YLI} \left( \cos \psi_A - \frac{1}{2} \sin^2 \psi_A \cos \psi_A \right) \cdot \sin \psi_A \cos \psi_A \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} C_n(\psi_A) &= C_y(\psi_A) \cdot L_n(\psi_A) \\ &= C_y(\psi_A) \cdot \left[ 0.927 \times \frac{C}{L_{OA}} - 0.149 \times \left( \psi_A - \frac{\pi}{2} \right) \right] \end{aligned}$$

(4) 波漂流力

波漂流力は上野ら<sup>3)</sup>により提案されたデータベースを用いている。本データベースでは波漂流力の x 軸方向成分  $X_W$  は、丸尾による推定式<sup>4)</sup>を、y 軸方向成分及び z 軸まわりの成分  $Y_W, N_W$  は Newman による推定式<sup>5)</sup>を用いて、(5)式のように表した。

$$\left. \begin{aligned} X_W &= \frac{\rho\kappa^2}{8\pi} \int_0^{2\pi} |H(\theta)|^2 (\cos \theta - \cos \chi) d\theta \\ Y_W &= \frac{\rho\kappa^2}{8\pi} \int_0^{2\pi} |H(\theta)|^2 (\sin \theta - \sin \chi) d\theta \\ N_W &= \frac{\rho\kappa}{8\pi} \text{Im} \int_0^{2\pi} H(\theta)^* H(\theta)' d\theta - \frac{1}{2\kappa} \rho\omega\zeta_a \text{Re}(H(\pi+\chi)') \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここで、 $\kappa$  は波数、 $\zeta_a$  は波振幅、 $\chi$  は波との出会い角、 $H(\theta)$  はコチン関数を表している。

波漂流力を計算するためには船型情報が必要となる。そのため、事前に入手した船型情報をもとにタンカー、コンテナ船、PCC、貨物船及び漁船を対象とした計算を行い、データベースを構築した。構築されたデータベースから  $L/B$  や  $B/d$ 、船種をパラメータとして推定を行った。本推定式の妥当性は内航タンカー及び内航フェリー模型を用いた水槽実験（波漂流力の計測）で確認を行っている。

(5) 錨鎖の張力

錨鎖の張力  $T_i (i = 1, 2)$  の推定には貴島が用いた推定手法<sup>6)</sup>を用いた。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た。この仮定の下で船舶に作用する錨鎖の張力以外の外力が錨鎖の張力と釣り合うものと仮定すると、単錨泊の場合の錨鎖の張力  $T$  は(6)式のように表すことができる。

$$T = -(X_H + X_P + X_A + X_W) \cos(\xi_1 - \psi) - (Y_H + Y_A + Y_W) \sin(\xi_1 - \psi) \quad (6)$$

一方、双錨泊の場合の2本の錨鎖の張力  $T_i (i = 1, 2)$  は(7)式のように表すことができる。

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= \frac{-(X_H + X_P + X_A + X_W) \sin(\xi_2 - \psi) + (Y_H + Y_A + Y_W) \cos(\xi_2 - \psi)}{\cos(\xi_1 - \psi) \sin(\xi_2 - \psi) - \sin(\xi_1 - \psi) \cos(\xi_2 - \psi)} \\ T_2 &= \frac{-(X_H + X_P + X_A + X_W) \sin(\xi_1 - \psi) + (Y_H + Y_A + Y_W) \cos(\xi_1 - \psi)}{\cos(\xi_2 - \psi) \sin(\xi_1 - \psi) - \sin(\xi_2 - \psi) \cos(\xi_1 - \psi)} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ここで、 $\xi_i$  は錨鎖  $i$  と空間固定座標系の  $X_0$  軸がなす角度、 $\psi$  は回頭角である。このとき、錨鎖の張力  $T_i$  の  $x, y$  軸方向成分  $X_T, Y_T$  及び錨鎖の張力によって船体に作用するモーメント  $N_T$  は(8)式により表される。

$$\left. \begin{aligned} X_T &= \sum_i^2 T_i \cos(\xi_i - \psi) = \sum_i^2 T_{ix} \\ Y_T &= \sum_i^2 T_i \sin(\xi_i - \psi) = \sum_i^2 T_{iy} \\ N_T &= \sum_i^2 (-T_{ix} \cdot y_{bi} + T_{iy} \cdot x_{bi}) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ここで  $x_b, y_b$  は船体固定座標系  $G-xy$  におけるベルマウスの座標である。

ベルマウス位置とアンカー位置の水平距離  $l_h$  が、錨鎖の全長  $l_c$  から水底とベルマウスの鉛直距離  $H$  を差し引いた距離より短くなった場合 ( $l_h < l_c - H$  : 図 5 参照) には、錨鎖がベルマウス位置より鉛直下方に垂れた状態にあるものと考えられるため、この状態における張力は  $T=0$  と仮定した。

一方、ベルマウス位置とアンカー位置の直線距離  $l_d$  が錨鎖の全長  $l_c$  より長くなった場合 ( $l_d > l_c$  : 図 5 参照) には、後述するアンカーによる把駐力が錨鎖の張力としてそのまま作用するものと仮定した。

庄司<sup>7)</sup>によると錨鎖の伸びを考慮したカテナリー近似による錨鎖張力は(9)式のように表される。

$$\left. \begin{aligned} S &= \frac{T_0}{W} \sinh \frac{W}{T_0} \left( X - \frac{T_0 S}{EA} \right) \\ Z &= \frac{T_0}{W} \left\{ \cosh \frac{W}{T_0} \left( X - \frac{T_0 S}{EA} \right) - 1 \right\} + \frac{T_0^2}{2EAW} \sinh^2 \frac{W}{T_0} \left( X - \frac{T_0 S}{EA} \right) \\ T_x &= T_0, \quad T_z = WS, \quad T = \sqrt{T_x^2 + T_z^2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

ここで、 $S$  は錨鎖長さ  $A$  は錨鎖断面積、 $E$  は錨鎖のヤング率、 $W$  は錨鎖の単位長さ当たりの水中重量、 $T_0$  は索の接線が水平になる点の張力である。

この式の解法に(10)式の近似を適用する。

$$\sinh^{-1} X = X - \frac{X^3}{6}, \quad \sqrt{1+X^2} = 1 + \frac{1}{2} X^2 \quad (10)$$

① 水底で錨鎖がたるむ場合 (図 4 の①状態)

$$T_x = 0, \quad T_z = WZ \quad (11)$$

② 錨鎖の一部が水底を這い、他の部分はカテナリーを描く場合 (図 4 の②状態)

$$\left. \begin{aligned} T_x^6 + EA \left( 5 - \frac{2}{S} X \right) T_x^5 + (EA)^2 \left\{ 10 - \frac{8}{S} X + \left( \frac{X}{S} \right)^2 \right\} T_x^4 \\ + (EA)^3 \left\{ 10 - \frac{12}{S} X + 3 \left( \frac{X}{S} \right)^2 \right\} T_x^3 + (EA)^4 \left( 1 - \frac{X}{S} \right) \left( 5 - \frac{3}{S} X \right) T_x^2 \\ + (EA)^5 \left( 1 - \frac{X}{S} \right)^2 T_x - \frac{2WZ^3 (EA)^5}{9S^2} = 0 \\ T_z = \sqrt{\frac{2WZT_x}{\left( 1 + \frac{T_x}{EA} \right)}} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

③ 水底を這う部分がなく、全体がカタナリーを描く場合 (図4の③状態)

$$\left. \begin{aligned} & T_x^5 + EA \left( 3 - \frac{X}{S} \right) T_x^4 + (EA)^2 \left\{ 3 - \frac{2}{S} X \right\} T_x^3 \\ & + \left\{ (EA)^3 \left( 1 - \frac{X}{S} - \frac{1}{2} \left( \frac{X}{S} \right)^2 \right) - \frac{EAW^2S^2}{24} \right\} T_x^2 \\ & - \frac{(EA)^2W^2S^2}{12} T_x - \frac{(EA)^3W^2}{24} S^2 = 0 \\ & T_z = \frac{ZT_x}{\left( 1 + \frac{T_x}{EA} \right) S} + \frac{WS}{2} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

ここで、錨鎖のたるみがなくなる距離  $X_1$  は

$$X_1 = S - Z + \frac{WZ^2}{2EA} \quad (14)$$

また、錨鎖が水底を這わなくなる距離  $X_2$  は

$$X_2 = S + \frac{WS^3}{2ZEA - WS^2} - \frac{(2ZEA - WS^2)^2}{6S(EA)^2} \quad (15)$$

である。

船舶の錨鎖取付位置と錨の位置との距離を  $X_1, X_2$  と比較し、(11)~(13)式を解くことにより(2)式中の錨鎖張力  $X_T, Y_T$  が求まる。

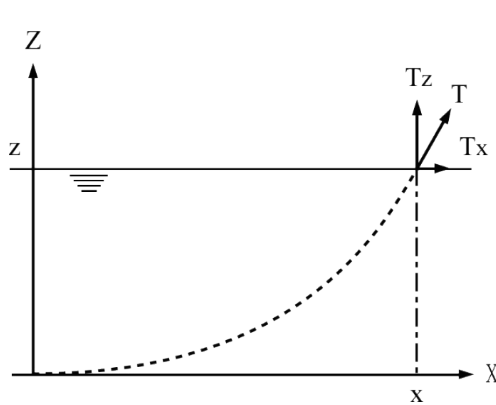


図.3 カテナリーの座標系

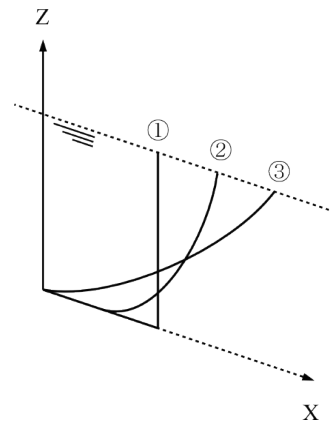


図.4 錨鎖の計算状態について

(6) 錨及び錨鎖の係駐力計算

錨及び錨鎖の係駐力については、参考文献<sup>6)</sup>に従って推定を行った。図5に示すように単錨泊時の係駐力はアンカーの把駐力  $H_p = w_a \cdot \lambda_a$  と海底に横たわる錨鎖長さ  $l$  の底質に対する摩擦抵抗  $w_c \cdot \lambda_c \cdot l$  の和となる。すなわち、船の係駐力は(16)式のように表される。

$$P = w_a \cdot \lambda_a + w_c \cdot \lambda_c \cdot l \quad (16)$$

ここで、 $l$  は錨鎖の伸出量  $l_c$  からカテナリー長さ  $S$  を差し引いた係駐部の長さである。  $w_a$  及び  $w_c$  はアンカー及び錨鎖の重量である。 $\lambda_a$  及び  $\lambda_c$  はそれぞれ JIS 型ストックレスアンカー及び AC-14 型の標準把駐係数、錨鎖の摩擦抵抗係数であり、表 1 及び表 2 に示す値を用いた。

また、 $S$  の大部分は水没しているから、 $S$  は錨鎖の水中重量  $w'_c (= 0.87w_c)$  により描くカテナリー長さともみることが適当である。錨鎖張力の水平分力  $X_T$  は船に働く水平外力であるから、(17) 式のように表される。

$$\left. \begin{aligned} S &= \sqrt{H^2 + 2 \left( \frac{X_T}{w'_c} \right) H} \\ l &= l_c - S \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

表 1 アンカーの標準把駐係数

底質	アンカー型式	
	JIS 型	AC-14 型
砂	3.5	7.0
泥	3.0	10.0

表 2 錨鎖の摩擦抵抗係数

底質	$\lambda_c$
砂	0.75
泥	1.0

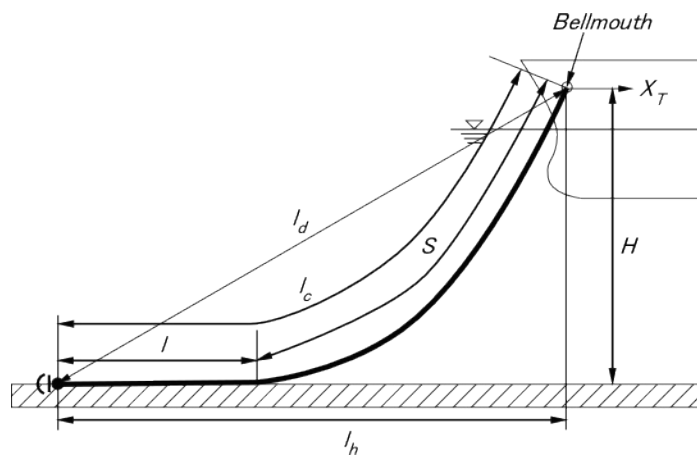


図 5 係駐力に関するパラメータ

### 3. GUI について

#### 3.1 入力データ

本システムを使用するためには船舶情報、錨泊地情報と気象・海象情報の入力が必要となる。ユーザーの利便性を考慮して入力データ数は、本システム内で用いている推定法を適用する上で必要最低限のものとしている。本システムのデータ数を入力データの項目を表 3 に示す。入力画面を図 6~8 に示す。



表3 入力データ

錨泊情報	水深, 底質, 錨泊方法, 錨鎖伸出量
気象・海象情報	風速, 風向き, 波高, 波周期, 波向き
船体情報	錨泊時の前後喫水・船首方位
船舶情報	船長, 船幅, 型深さ, 満載喫水, 満載排水量, ベルマウス高さ, 満載時風圧正面積・側面積, アンカー型式, アンカー重量, 錨鎖径, 1節当たりの錨鎖長さ

船舶情報の入力に際しては、初めに「初期設定」の「船種」と「総トン数」を選択する必要がある。これは波漂流力を算出するために必須の項目となる。「船種」と「総トン数」を選択すると、自動的に入力項目がサンプルデータで埋められる。サンプルデータを参考に、個船に応じた数値に変更することを想定している。

錨泊情報や気象・海象情報、船体情報を入力後に「計算開始」ボタンを押すと、入力された前後喫水の数値を用いて船舶情報の数値を修正している。

The screenshot shows the 'Walk Anchor Risk Judgment System Ver1.1.2.0' interface. It is divided into several sections:

- 錨泊情報 (Mooring Information):** Includes fields for 水深 (15.00 m), 底質 (S.砂), 錨泊方法 (単錨泊), and 錨鎖伸出量 (7.00 節).
- 気象・海象情報 (Weather/Sea Information):** Includes fields for 風速 (18.00 m/s), 風向 (N), 波高 (1.00 m), 波周期 (5.00 s), and 波向 (N).
- 船体状態 (Ship Status):** Includes fields for 前部喫水 (3.50 m), 後部喫水 (3.50 m), and 船首方位 (N).
- プロペラ推力制御設定 (Propeller Thrust Control Settings):** Includes a checkbox for プロペラ推力制御 and radio buttons for トップ画面, 船体情報, 船体詳細情報, and プロペラ情報.
- Buttons:** A large blue arrow points from the input fields to the settings. Below the settings are buttons for '計算開始' (Calculate) and '過去計算結果表示' (Show Past Calculation Results).

図6 錨泊情報や気象・海象情報、船体情報の入力画面(トップ画面)

The screenshot shows the 'Walk Anchor Risk Judgment System Ver1.1.2.0' interface, specifically the 'Ship Information' screen. It is divided into several sections:

- 初期設定 (Initial Settings):** Includes dropdowns for 船種 (タンカー) and 総トン数 (749), with a '反映' (Apply) button.
- 船体情報 (Ship Information):** Includes fields for 船長 (88.00 m), 船幅 (11.50 m), 型深 (5.35 m), 満載喫水 (4.74 m), 満載排水量 (2578.03 t), and ベルマウス高さ (5.95 m).
- 錨・錨鎖情報 (Anchor/Anchor Chain Information):** Includes fields for アンカー形式 (JIS), アンカー重量 (1440.00 kg), 錨鎖径 (36.00 mm), and 一節長さ (25.0m).
- 満載時風圧面積 (Full Load Wind Pressure Area):** Includes fields for 正面 (96.92 m²) and 側面 (186.45 m²).
- ファイル入力 (File Input):** Includes a 'ファイル入力' button and a '保存して戻る' (Save and Return) button.
- ファイル出力 (File Output):** Includes 'ファイル出力' and 'ファイル出力' buttons.

図7 船体情報の入力画面

また、風圧力の影響をより詳細に考慮したい場合には、トップ画面にある「船体詳細情報」ボタンを選択して風圧面積に関するより詳細な情報を入力することが可能となっている。さらに、本システムではプロペラを作動させることで走錨リスクを減少させることの可否を確認したい場合には、トップ画面にある「プロペラ情報」を選択してプロペラに関するデータを入力することが可能となっている。錨泊時にプロペラ推力を用いることは容易ではなく、必要以上のプロペラ推力を与えると振れ回り運動の振れ幅が大きくなり走錨リスクを増加させる可

能性がある。プロペラ推力を用いて走錨リスクを減少させるためには、適切なプロペラ回転数の選択が肝心となる。

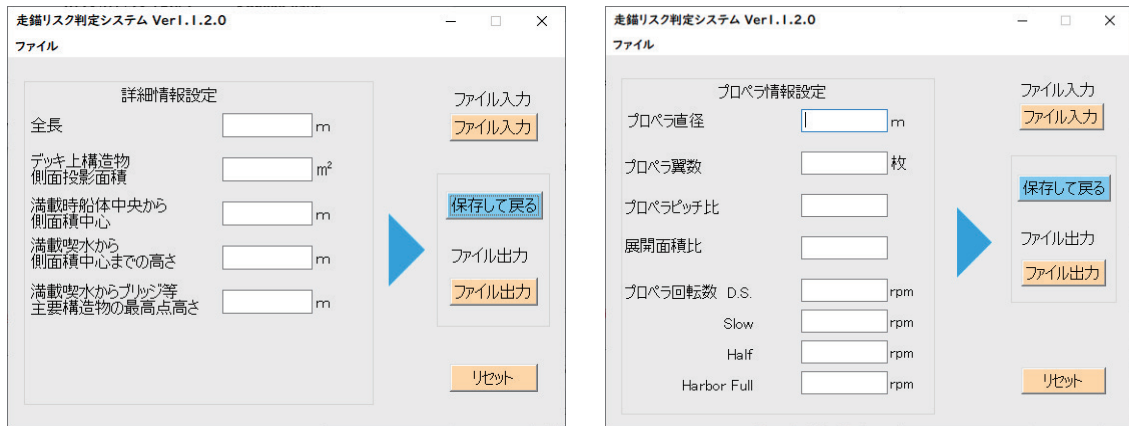


図8 船体詳細情報，プロペラ情報の入力画面

### 3.2 走錨リスク推定結果

ユーザーにより入力されたデータをもとに、上記に示した錨泊時の船体の振れ回り運動のシミュレーション計算を行っている。シミュレーション計算により求めた振れ回り運動中の最大錨鎖張力と錨泊情報をもとに算出された錨と錨鎖の最大係駐力を比較することで走錨リスクを算出している。算出された推定結果の例を図9に示す。

$$(\text{走錨リスク}) = \frac{(\text{船体の振れ回り運動中の最大錨鎖張力})}{(\text{錨と錨鎖の最大係駐力})}$$

双錨泊の場合には錨鎖毎に走錨リスクを算出し、走錨リスクの高い方を表示している。

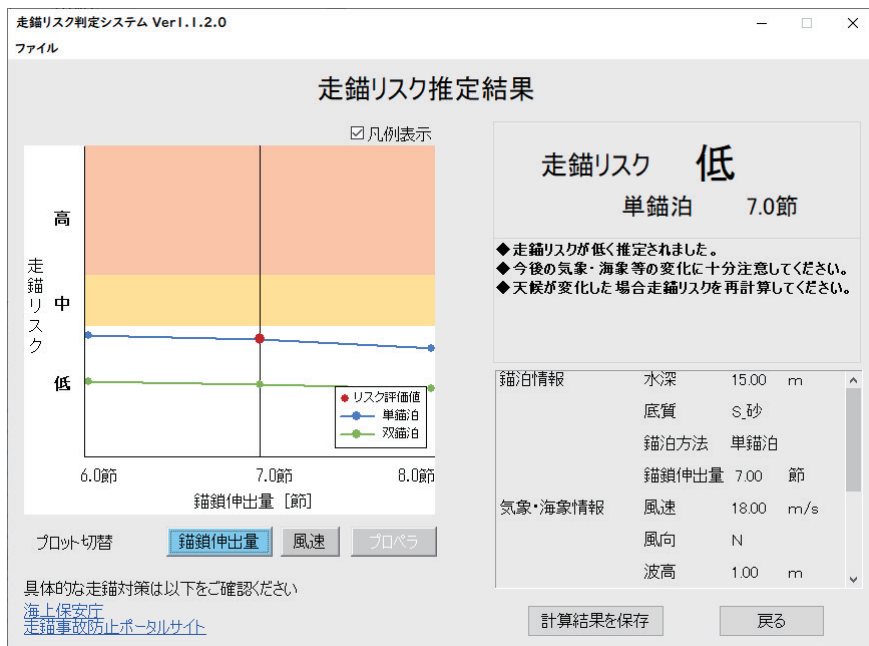


図9 走錨リスク推定結果の出力画面

左側は計算条件を幾つか変更した際の走錨リスクのグラフ, 右上は走錨リスクの推定結果とそれに伴う注意喚起文, 右下にはユーザーにより入力された計算条件を示している. 左側のグラフの縦軸は推定された走錨リスク, 横軸は計算条件となっている. 横軸の計算条件は下のボタンで変更することが可能で, 「錨鎖の伸出量」, 「風速」, 「プロペラ」から選択することが可能となっている. 走錨リスクが「高」または「中」となった場合には, 錨泊方法の再検討を行うことが望ましいと考える.

### 3.3 PC版とWebアプリ版

本システムは使用方法の異なる2つの形態を作成した. 1つは海上技術安全研究所のホームページからダウンロードしてユーザーのPC上で使用する「PC版」で, もう1つは海上技術安全研究所クラウド上で使用する「Webアプリ版」となる.

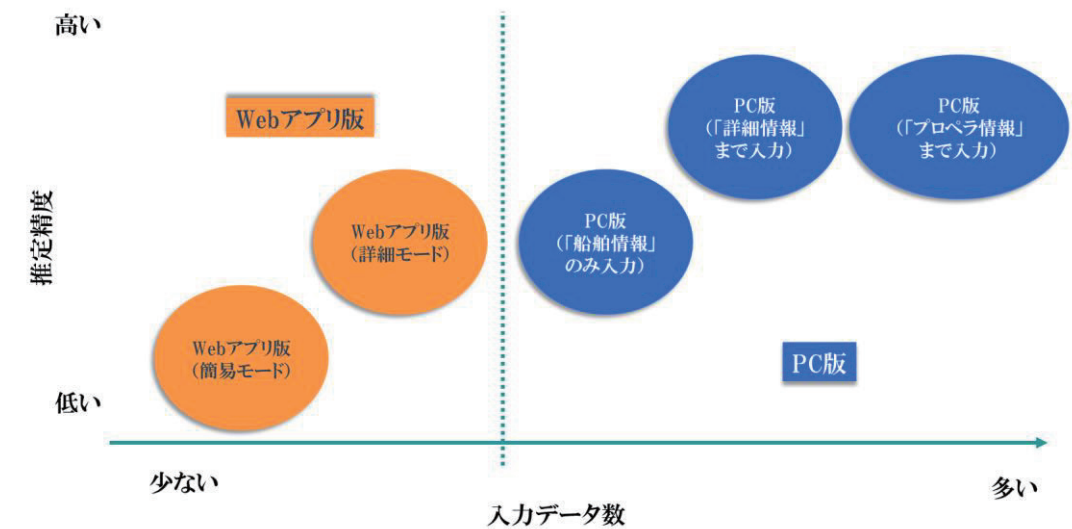


図10 「PC版」と「Webアプリ版」の関係

「Webアプリ版」には「簡易モード」と「詳細モード」の2つがあり, 入力データ数が異なる. 「簡易モード」は入力データ数を減らすことで使い勝手が良いが, 入力データを省略した船体情報は推定式を用いて補完している. そのため, 対象船舶の船舶情報と推定された値に推定誤差が生じるとその誤差が推定結果に影響を及ぼす可能性がある. 「詳細モード」は「簡易モード」と比べて入力データ数は増加するが, 「簡易モード」よりも対象船舶を正確に取り扱えるので推定結果の推定精度が向上すると考える.

「PC版」は「船舶詳細情報」の入力の有無で推定精度に違いが生じると考える.

「PC版」と「Web版」とも無料で使用することが可能となっている.

## 4. 走錨リスクの推定

上記の運動方程式を用いて作成したシミュレーションプログラムを用いて, 代表的な船舶の走錨リスクの推定を行った. 供試船の主要目を表4に示す.

2船は主要目がほぼ同じで, 喫水線よりも上の風圧面積が異なるものを選択した. また, 以降の推定結果では満載状態の結果ではなく, 気象条件の影響を受け易い喫水で計算を行っている. それぞれの喫水はタンカー船が  $d=2.57\text{m}$ , LNG船が  $d=3.00\text{m}$  としている. タンカー船は満載喫水の半分程度, LNG船は満載喫水の7割程度の値としている.

表 4 供試船の主要目

船種	タンカー船	LNG 船
総トン数	2,000	3000
Lpp (m)	85.0	80.3
B (m)	14.0	15.1
D (m)	7.00	7.00
d (m) (満載時)	5.70	4.29
アンカー型式	AC14	JIS
アンカー重量 (kg)	1080.0	2280.0

#### 4.1 風速の違いによる影響

風速が走錨リスクに及ぼす影響を確認するため、波の影響は考慮せずに風向きは向い風として確認を行った。風速が単錨泊時の走錨リスクに及ぼす影響を図 11 に示す。横軸は風速、縦軸は走錨リスクを示している。また、錨鎖の伸出量が 7 節から 9 節までの 3 ケースの推定結果を併記している。また、本システムでは走錨リスクは 1.25 を上限としている。

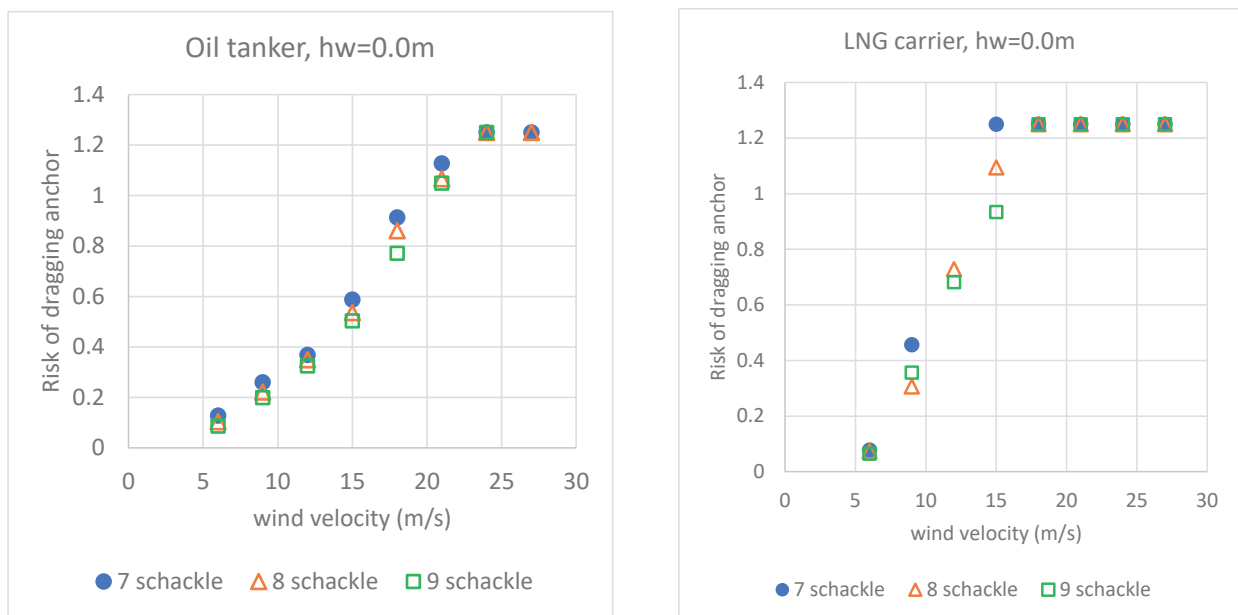


図 11 走錨リスクの風速による影響（単錨泊，波の影響は考慮せず）

タンカー船及び LNG 船ともに風速が速くなるにつれて走錨リスクは上昇し、タンカー船は風速 20m/s 程度で、LNG 船は 15m/s 程度で船体に働く錨鎖張力と錨・錨鎖の最大係駐力が等しくなることが確認された。また、タンカー船は錨鎖の伸出量の違いによる影響は殆どなく、LNG 船は風速が速くなるにつれて錨鎖の伸出量の違いが確認できる。これは計算条件下で生じる振れ回り運動の違いによる影響と考えられる。タンカー船は錨鎖の伸出量を増やしても振れ回り運動中に計測される錨鎖張力の最大値は殆ど変化なく、LNG 船は変化している。一般的に喫水線よりも上の風圧側面積が小さいタンカー船では風速 20m/s 程度の風速では走錨リスクを感じることはない

とされている。しかし、本推定では満載時と比べて喫水を浅くした状態で推定を行っているために、比較的高めの推定結果になったと考えられる。

本推定結果により風圧力の影響が走錨リスクの推定に適切に反映されていると考える。

#### 4.2 波の違いによる影響

タンカー船を用いて波条件の違いが走錨リスクへ及ぼす影響を確認するため、風向きは向い風、波向きは向い波として確認を行った。波条件の違いが走錨リスクに及ぼす影響を図12に示す。横軸は風速、縦軸は走錨リスクを示している。また、波高は2mとし、波長の異なる2ケース ( $\lambda=39.00\text{m}$ ,  $87.75\text{m}$ ) と波の影響を考慮していない推定結果を併記している。これらの波長は波周期が5秒と7.5秒に対応する。

波の影響を考慮しないケースと $\lambda=87.75\text{m}$ のケースでの推定結果はほぼ同様の値となっている。一方、 $\lambda=39.00\text{m}$ のケースはそれ以外と比べてほぼ2倍の推定結果となっている。船体に働く波漂流力は波長が短いほど大きくなり、肥大船の方が痩せ型船よりも影響を受けやすいことが知られている。タンカー船の船長は85.0mなので、2つの波の波長船長比は0.46と1.03となる。

没水部の船型により一概には言えないが、波長が船長よりも短い場合には、走錨リスクを評価する場合に波漂流力の影響を考慮する必要がある、波長が船長よりも長い場合には影響が少ないと考える。一般的に走錨が問題となるような強風時は波長が短いことが多く、風圧力だけではなく波漂流力も適切に評価する必要があると考える。

本推定結果により波の影響が走錨リスクの推定に適切に反映されていると考える。

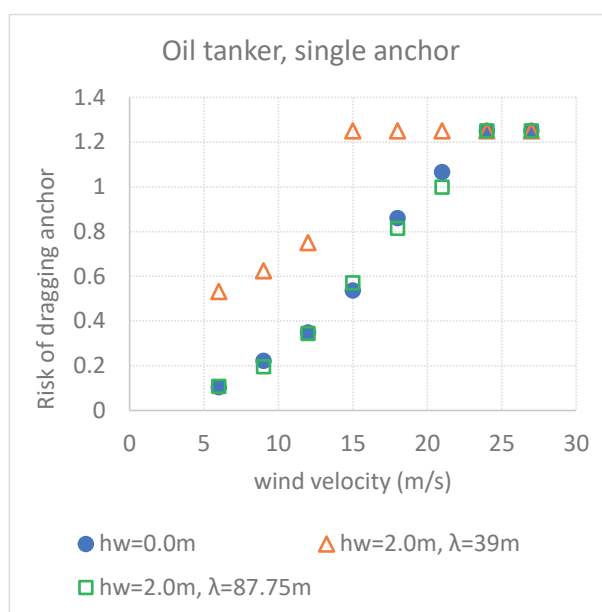


図12 走錨リスクの波条件による影響 (単錨泊)

#### 4.3 錨鎖方法の違いによる影響

タンカー船を用いて錨泊方法の違いが走錨リスクへ及ぼす影響を確認するため、波の影響は考慮せずに風向きは向い風として確認を行う。錨泊方法の違いにより風速が走錨リスクに及ぼす影響を図13に示す。横軸は風速、縦軸は走錨リスクを示している。また、錨鎖の伸出量が7節から9節までの3ケースの推定結果を併記している。本推定では錨鎖の開き角は60度としている。

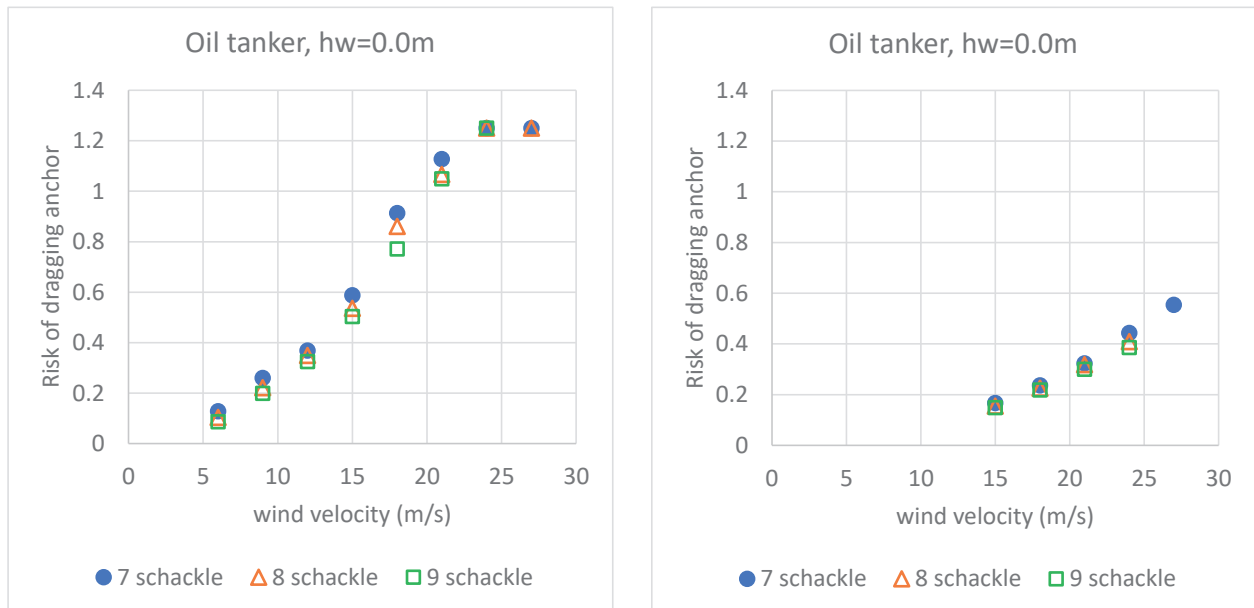


図 13 走錨リスクの錨鎖方法による影響（タンカー船，波の影響は考慮せず，左：単錨泊，右：双錨泊）

本推定結果からタンカー船は単錨泊から双錨泊へ錨泊方法を変更すると走錨リスクが半分以下に減少することが確認された。一般的に錨泊方法を単錨泊よりも双錨泊に変更することで走錨リスクが小さくなると言われており，本推定でも同様の結果となることが確認された。双錨泊にすることで錨鎖から船首に左右方向の力が働き，船首揺れを抑制する効果があると考えられる。これにより錨泊時の振れ回り運動が発達しなくなり走錨リスクが減少したと考えられる。

本推定結果により錨泊方法の違いが走錨リスクの推定に適切に反映されていると考える。

同様の確認を LNG 船について行う。錨泊方法の違いにより風速が走錨リスクに及ぼす影響を図 14 に示す。横軸は風速，縦軸は走錨リスクを示している。また，錨鎖の伸出量が 7 節から 9 節までの 3 ケースの推定結果を併記している。本推定では錨鎖の開き角は 60 度としている。

LNG 船はタンカー船の傾向とは多少異なり，単錨泊から双錨泊に変更してもタンカー船ほどの走錨リスクの低減効果が得られないことが確認された。LNG 船は喫水線よりも上の風圧側面積がタンカー船よりも大きく，風の影響を受けやすい船型となっている。そのため，同じ風速でも船体に働く風圧回頭モーメントはタンカー船より大きく，単錨泊の際はタンカー船よりも大きな振れ回り幅となる。船体が振れ回り運動することで錨鎖張力を抑えられるが，双錨泊にして船体の振れ回り幅を抑制すると錨鎖張力は大きくなると考えられる。

LNG 船のような喫水線よりも上の風圧側面積が大きな船舶は，錨泊方法として双錨泊を選択する場合には注意が必要であると考えられる。

#### 4.4 錨鎖の伸出量の違いによる影響

一般的に走錨リスクを低下させる方法としては錨鎖の伸出量を伸ばすことが有効であると考えられている。そこで，LNG 船を用いて錨鎖の伸出量の違いによる走錨リスクへ及ぼす影響の確認を行う。風向きは向い風，波の影響は考慮せずに実施した。

錨鎖の伸出量の違いにより風速が走錨リスクに及ぼす影響を図 15 に示す。横軸は風速，縦軸は走錨リスクを示している。また，錨鎖の伸出量が 8 節と 12 節の 2 ケースの推定結果を併記している。

錨鎖の伸出量を 8 節から 12 節に変更する走錨リスクが減少することが確認された。これは錨鎖の伸出量を伸ばすことで錨と錨鎖の最大係駐力が増加したことが理由と考えられる。走錨リスクを減少させるためには錨鎖の伸出量を増やすことが有効であると考えられる。しかし，錨鎖の伸出量を増やすと船体の振れ回り幅が大きくなるので，錨泊時の周辺の船舶との間隔に注意が必要である。

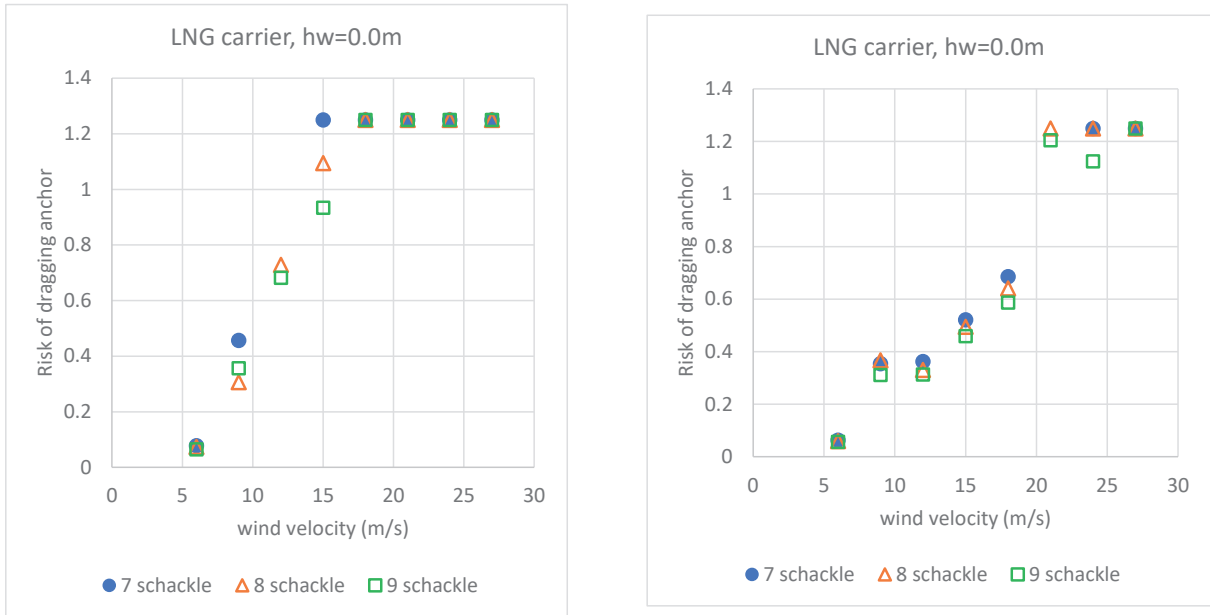


図14 走錨リスクの錨鎖方法による影響 (LNG船, 波の影響は考慮せず, 左: 単錨泊, 右: 双錨泊)

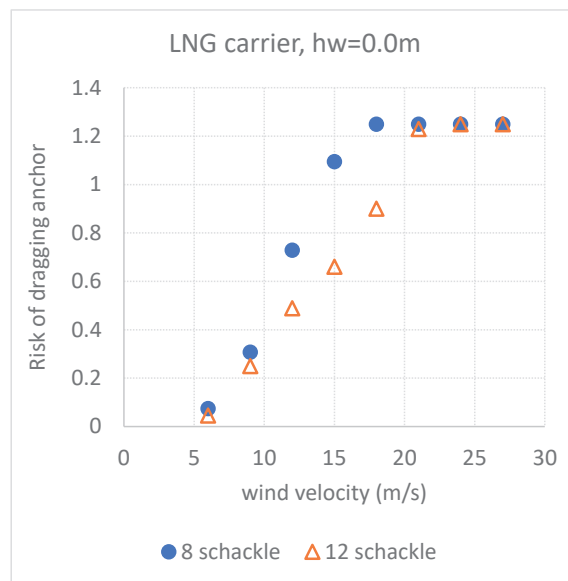


図15 走錨リスクの錨鎖の伸出量による影響 (LNG船, 波の影響は考慮せず, 単錨泊)

## 5. 結 論

走錨による海難事故を防止するために、適切な錨泊地の選定を支援する「走錨リスク判定システム」の開発を行った。本システムを用いてタンカー船と LNG 船を用いて気象・海象条件や錨泊方法などの違いが、走錨リスクの推定に適切に反映されているか確認を行った。これらの確認から以下のような知見が得られた。

- 風速を速くなるにつれて走錨リスクが増加する
- 波漂流力による影響は波長が短い場合に顕著となり、波長が長くなるにつれて影響が小さくなる

- タンカー船のように喫水よりも上の風圧側面積が小さい船舶は、単錨泊よりも双錨泊の方が走錨リスクを減少させる効果がある
- LNG 船のように喫水よりも上の風圧面積が大きい船舶は、双錨泊により走錨リスクを減少させる効果は少ない
- 走錨リスクを減少させるためには、錨鎖の伸出量を増やすことが効果的である

今回は向い風と向い波を仮定して検討を行ったが、風向きと波向きが異なる場合に別途検討が必要であると考える。

今後は本システムを用いて気象や海象条件、船種毎に適当な錨泊方法の検討を行う予定である。本システムが数多くの船舶で使用して頂き、走錨による海難事故の防止に役立つことを期待している。

## 謝 辞

本研究は、国土交通省海事局の「走錨リスク判定システムの確立のための調査事業」として実施しました。関係各位に深く感謝申し上げます。

## References

- 1) 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.98-1028.
- 2) 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.
- 3) Michio Ueno, Shigeo Ohmatsu and Sadayoshi Chiaki : Estimation Program for Steady Wave Loads on Ships at Zero Forward Speed Using Database, Papers of National Maritime Research Institute, Vol.16, No.3, 2006, pp.43-52
- 4) Maruo, H : The drift of a body floating on waves, Journal of Ship Research, 4-3, 1960, pp.1-10
- 5) Newman, J. N. : The drift force and moment on ship in waves, Journal of Ship Research, 11-1, 1967, pp.51-60
- 6) 貴島勝郎：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.6，2006，pp.88-99.
- 7) 庄司邦昭，係留浮体の運動と係留索の張力に関する研究，日本造船学会論文集，第 138 号，1975，pp. 233-246.