

令和3年(第21回)海上技術安全研究所研究発表会

# 走錨リスク判定システムの開発

流体性能評価系

宮崎英樹，河村昂軌，柳裕一郎，鈴木良介，田口晴邦

海洋開発系

渡邊充史，長谷川賢太，石田圭，齊藤昌勝，佐藤宏，湯川和浩



## 背景（社会・行政ニーズ）

- \* 平成30年9月の台風21号の影響で発生した**関西国際空港連絡橋への油タンカーの衝突**や令和元年9月の台風15号の影響で発生した**横浜港南本牧はま道路への貨物船の衝突**など、**走錨に起因する重大事故が**続発している。
- \* 走錨が発生すると、自船の他、社会インフラ、海洋環境に大きな被害をもたらす場合があるため、**事故を削減させることが喫緊の課題**である。**国土強靱化年次計画2020**（令和2年6月18日国土強靱化推進本部決定）においても**走錨事故の防止対策を進めることと**されている。
- \* 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、「走錨リスク判定システム」の開発を行った。



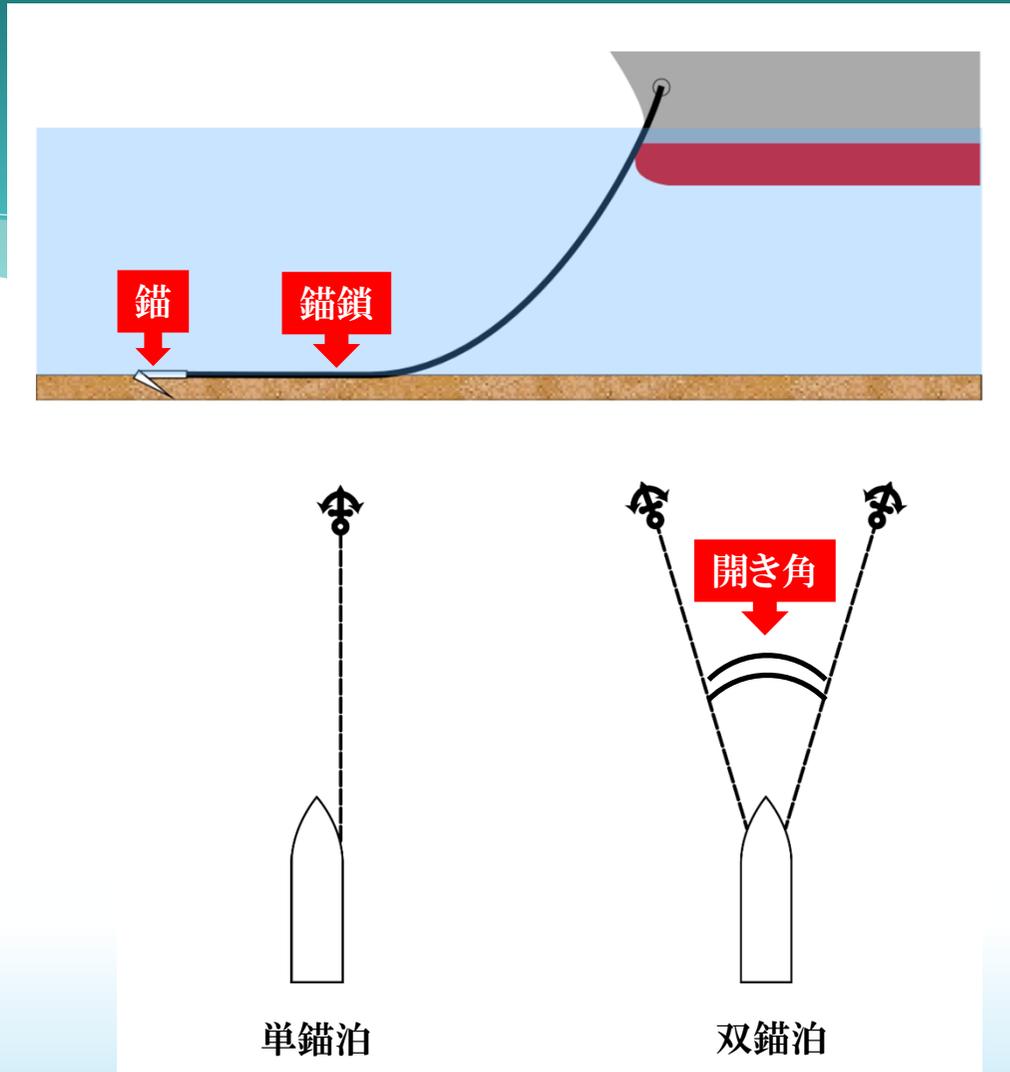
関西国際空港連絡橋への油タンカーの衝突  
出典：朝日新聞デジタル

# 錨泊・走錨について



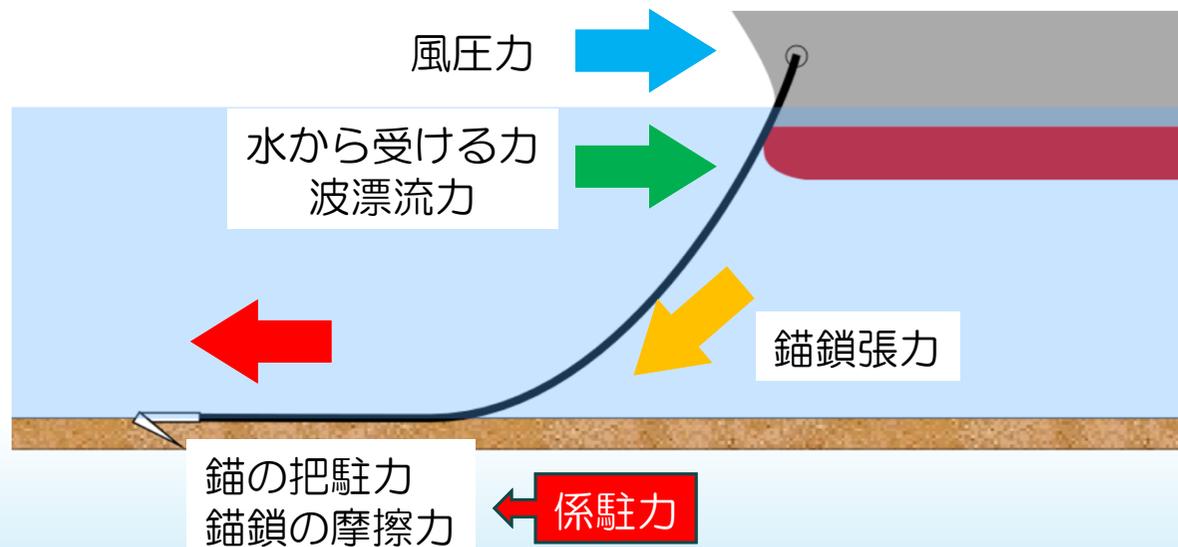
# 錨泊とは

- \* 船舶が岸壁や棧橋に接岸するのではなく，自船のアンカーを投錨して係留することを**錨泊**という
- \* 投錨，揚錨いずれの作業も比較的容易で機動性もあるので，**仮泊に錨泊をすることが多い**
- \* **荒天時**にも錨泊をすることがある
- \* 錨泊方法は幾つかあり，代表的なものとしては片舷の錨のみを使用する「**単錨泊**」と両舷の錨を使用する「**双錨泊**」がある
- \* 「双錨泊」の「**開き角**」は45～60度程度が推奨（本システムでは**60度**と設定）



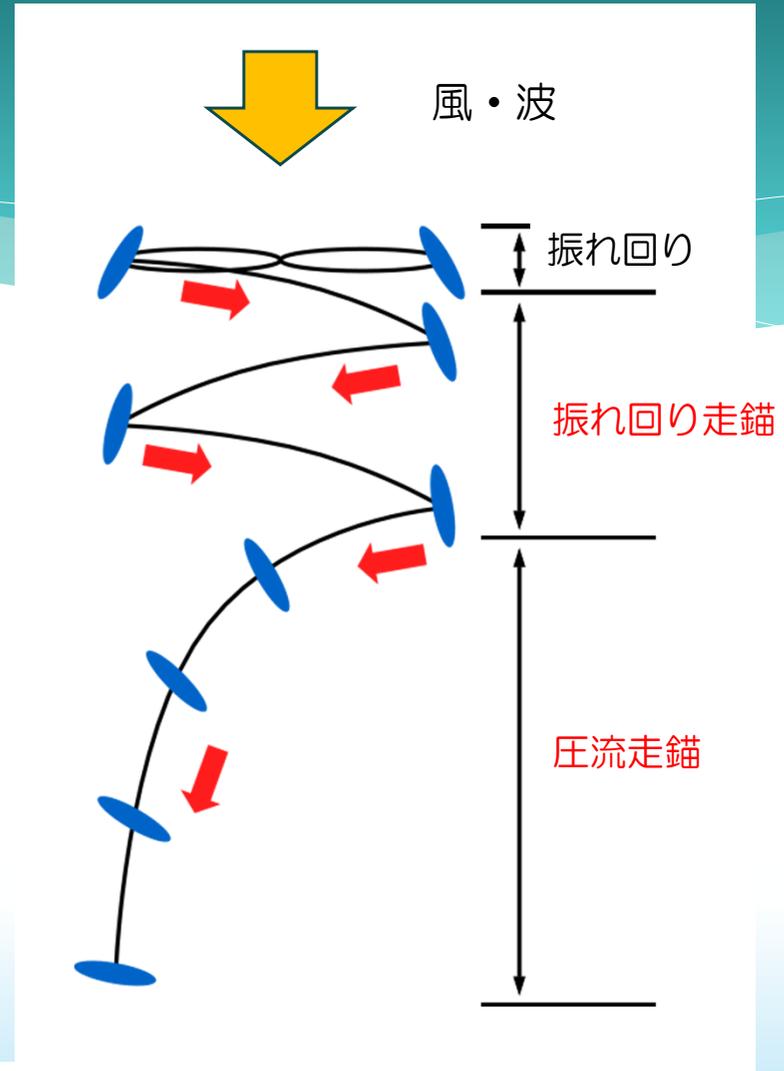
# 錨泊中の船体に働く力

- \* 錨泊中の船体には、船体が水から受ける力、風圧力、波漂流力、錨鎖張力などが働く
- \* 船体に働く力が錨と錨鎖の係駐力を下回る範囲であれば安全に錨泊することができる
- \* 船体に働く力が錨と錨鎖の係駐力を上回ると、走錨に至る



# 走錨とは

- \* 外力（操縦流体力・風圧力・波漂流力など）が錨と錨鎖の係駐力を上回ると走錨する
- \* 走錨は2段階の現象を伴う
  - \* 第一段階：振れ回り走錨  
外力が係駐力を上回ると船体が振れ回りながら、風下に圧流される
  - \* 第二段階：圧流走錨  
更に船体に働く外力が大きくなると船体が風に対して横倒しになりながら一定の速度で風下に圧流される



# 走錨リスク判定システムについて



# 走錨リスク判定システムの概要

- \* 走錨リスク判定システムは、**船舶情報**（事前入力）、**錨泊情報**、**気象・海象情報**（現場入力）の入力することで、走錨リスクの判定結果や適切な錨鎖伸出長等の**参考情報を提示するソフトウェア**です。

走錨リスク判定システム Ver1.1.2.0

ファイル

錨泊情報

水深	15.00	m
底質	S_砂	
錨泊方法	単錨泊	
錨鎖伸出量	8.00	節

気象・海象情報

風速	15.00	m/s
風向	N	
波高	1.50	m
波周期	7.00	s
波向	N	

船舶状態

前部喫水	4.00	m
後部喫水	4.00	m
船首方位	N	

プロペラ運動制御設定

プロペラ制御

トップ画面 :

船舶情報 :

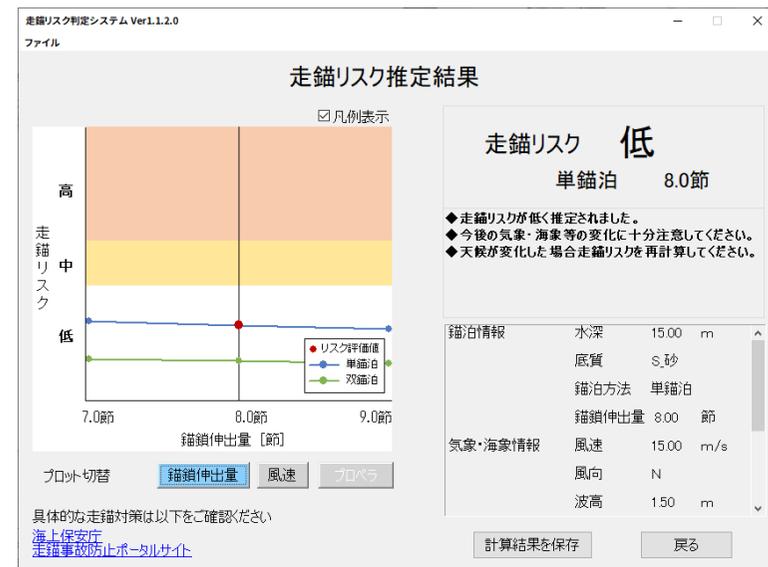
船舶詳細情報 :

プロペラ情報 :

計算開始

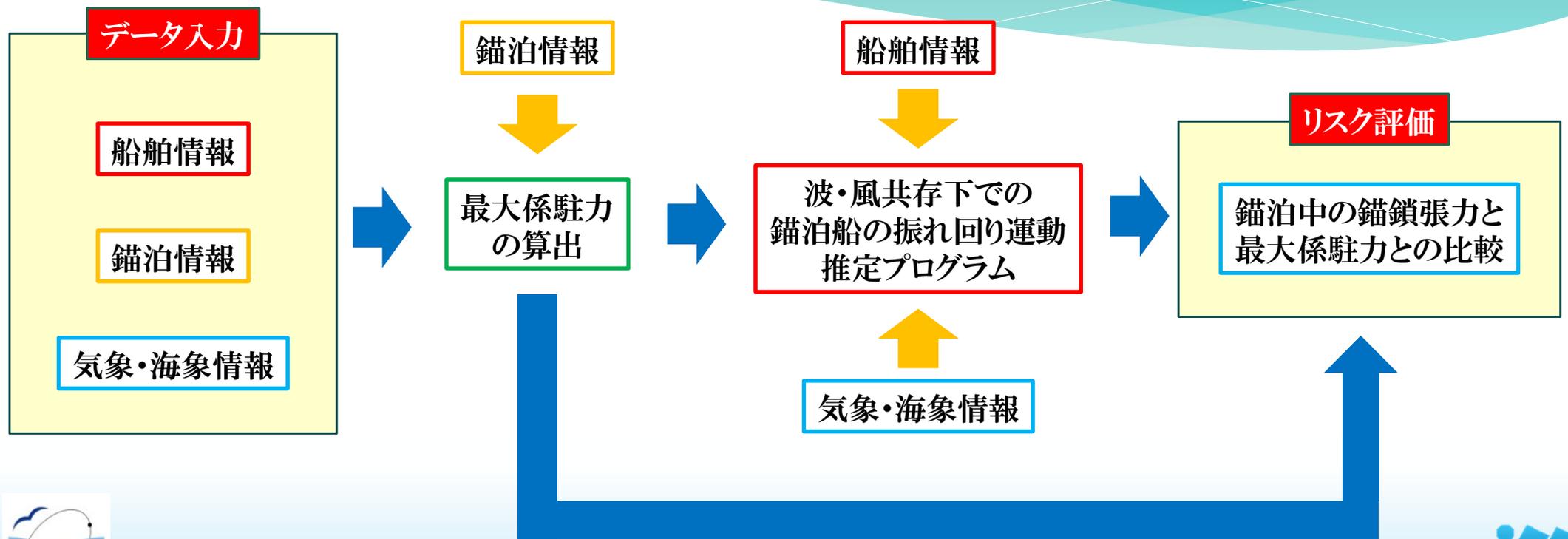
過去計算結果表示

トップ画面

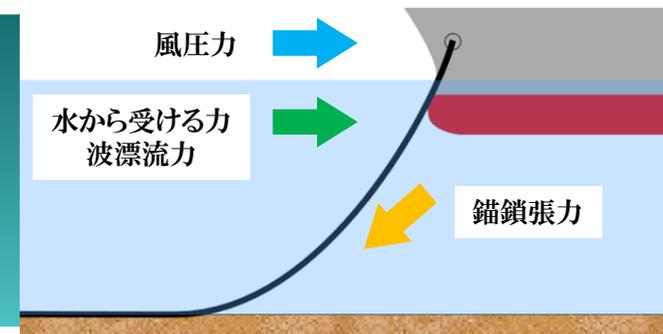


計算結果画面(横軸:錨鎖節数)

# 走錨リスク判定システムの概要



# 錨泊船の振れ回り運動推定 プログラムの開発



## \* 振れ回り運動の運動方程式

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

$u, v, r$  : 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

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

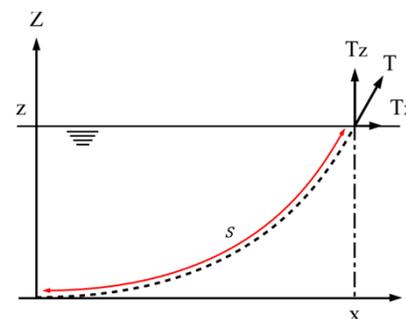
- <sub>H</sub> 水から受ける力
- <sub>P</sub> プロペラ推力
- <sub>A</sub> 風圧力
- <sub>W</sub> 波漂流力
- <sub>T</sub> 錨鎖張力

## \* 錨鎖張力の計算

\* 錨鎖の伸びを考慮したカテナリー近似を適用した \*

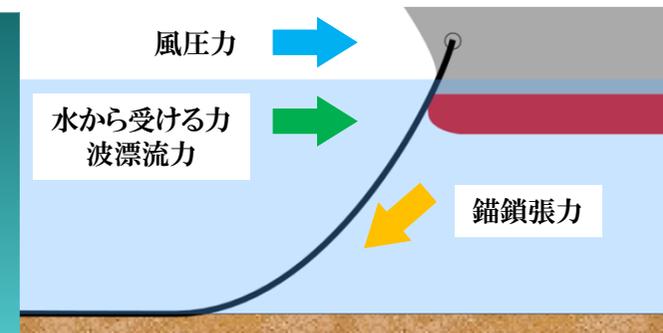
\* 錨鎖の一部が水底を這い、他の部分はカテナリーを描く場合には下式となる

$$\left. \begin{aligned} X_T^6 + EA \left(5 - \frac{2}{S}x\right) X_T^5 + (EA)^2 \left\{10 - \frac{8}{S}x + \left(\frac{x}{S}\right)^2\right\} X_T^4 \\ + (EA)^3 \left\{10 - \frac{12}{S}x + 3\left(\frac{x}{S}\right)^2\right\} X_T^3 + (EA)^4 \left(1 - \frac{x}{S}\right) \left(5 - \frac{3}{S}x\right) X_T^2 \\ + (EA)^5 \left(1 - \frac{x}{S}\right)^2 X_T - \frac{2WZ^3(EA)^5}{9S^2} = 0 \end{aligned} \right\}$$



\* 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, 138号, 1975年, pp. 233-246

# 錨泊船の振れ回り運動推定 プログラムの開発



## \* 水から受ける力の表現 \*\*

$$X_H = (X'_{uu}u' + X'_{vr}v'r') \times \frac{1}{2} \rho L d U^2$$

$$Y_H = (Y'_{vv}v' + Y'_{vvv}v'^3 + Y'_{vvvv}v'^5 + Y'_{ur}u'r' + Y'_{ur|r}u'r'|r'| + Y'_{v|r}v'|r'|) \times \frac{1}{2} \rho L d U^2$$

$$N_H = (N'_{vv}v' + N'_{uv}u'v' + N'_{vvv}v'^3 + N'_{uvvv}u'v'^3 + N'_{rr}r' + N'_{r|r}r'|r'| + N'_{uv|r}u'v'|r'| + N'_{vv}v'^2r') \times \frac{1}{2} \rho L^2 d U^2$$

ここで、 $X'_{uv}$ ,  $X'_{vr}$ ,  $Y'_{vv}$ ,  $Y'_{vvv}$  などは操縦微係数である

## \* 波漂流力の推定 \*\*\*

\* 波漂流力のx軸方向成分  $X_W$  は、丸尾による推定式を、y軸方向成分及びz軸まわりの成分  $Y_W, N_W$  はNewmanによる推定式を用いて、次式のように表した。(3次元パネル法)

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

$$H(\pi+\chi)' = \left. \frac{dH(\theta)}{d\theta} \right|_{\pi+\chi}$$

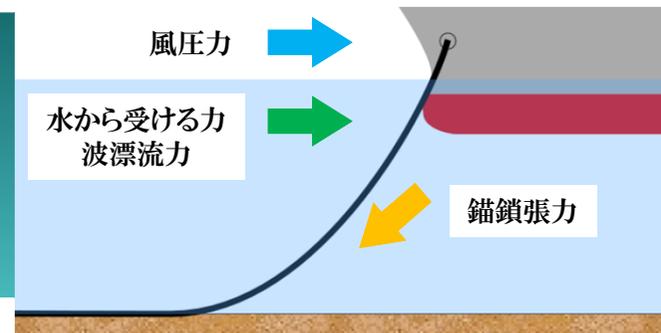


\*\* 高品純志：タグによる操縦運動とその計算法について，日本造船学会論文集，第160号，昭和61年11月，pp.98-102

\*\*\* 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，平成29年1月，pp.43-52



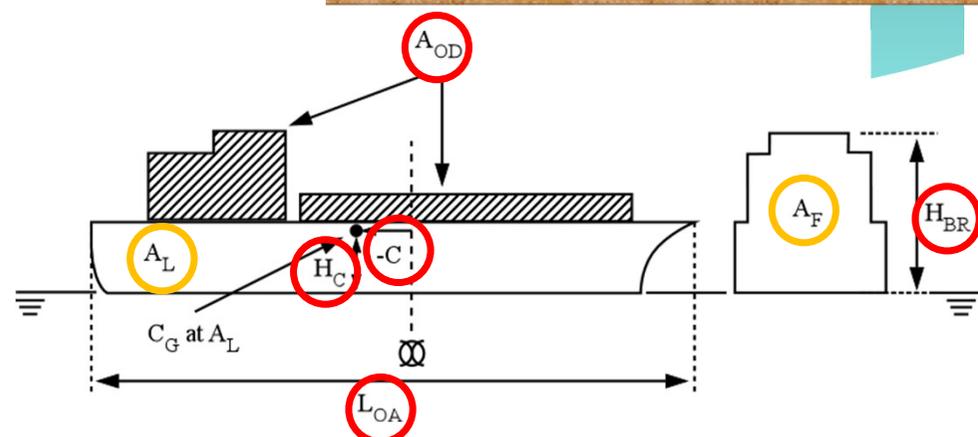
# 錨泊船の振れ回り運動推定 プログラムの開発



\* 風圧力の推定 \*\*\*\*

$$\left. \begin{aligned} X_A &= \frac{1}{2} \rho_a A_F V_A^2 C_X \\ Y_A &= \frac{1}{2} \rho_a A_L V_A^2 C_Y \\ N_A &= \frac{1}{2} \rho_a L_{OA} A_L V_A^2 C_N \end{aligned} \right\} \begin{aligned} C_X(\psi_A) &= F'_{LF} + F'_{XLI} + F'_{ALF} \\ &= C_{LF} \cos \psi_A \\ &\quad + C_{XLI} \left( \sin \psi_A - \frac{1}{2} \sin \psi_A \cos^2 \psi_A \right) \cdot \sin \psi_A \cos \psi_A \\ &\quad + C_{ALF} \sin \psi_A \cos^3 \psi_A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_Y(\psi_A) &= F'_{CF} + F'_{YLI} \\ &= C_{CF} \sin^2 \psi_A \\ &\quad + C_{YLI} \left( \cos \psi_A + \frac{1}{2} \sin^2 \psi_A \cos \psi_A \right) \cdot \sin \psi_A \cos \psi_A \end{aligned}$$



風圧力を算出するために必要なパラメータ

- : 船舶情報入力データ
- : 船舶詳細情報入力データ



\*\*\*\* 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, 平成17年10月, pp. 243-255



# 錨泊船の振れ回り運動推定プログラムの開発

## \* 最大係駐力

- \* 船体に働く外力を次第に大きくして走錨直前のぎりぎりまで増大させたとき、外力と係駐力のバランスが極限状態となる瞬間がある。
- \* このときの外力は伸出量に対して走錨せずに対抗できる最大外力であり、最大の係駐力となる。
- \* 船の係駐力(P)は以下のように書ける。

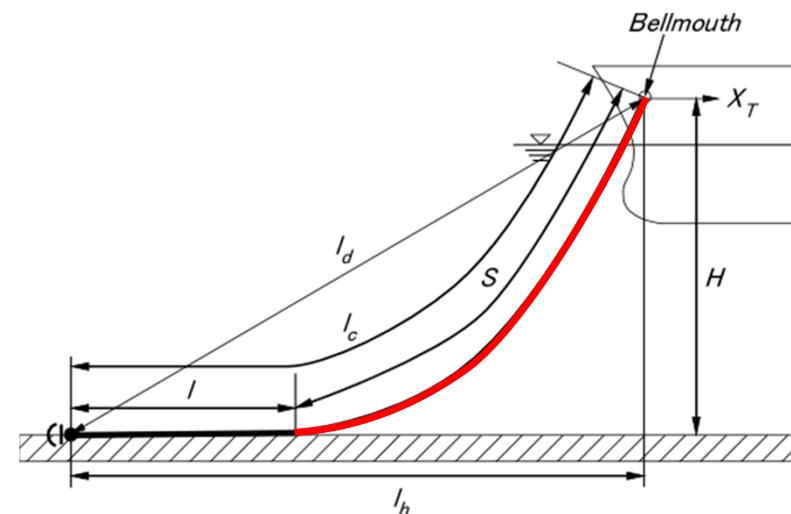
$$P = w_a \cdot \lambda_a + w_c \cdot \lambda_c \left\{ l_c - \sqrt{H^2 + 2 \left( \frac{X_T}{w_c'} \right) H} \right\}$$

錨の把駐力

錨鎖の摩擦力

- \* 最大係駐力( $F_m$ )は上式において、係駐力(P)と外力( $X_T$ )がバランスした状態が係駐力としての最大値となる。
- \* そこで、上式のPと $X_T$ を $F_m$ に置き換えて、2次方程式を解くことで最大係駐力が得られる。

$$F_m = w_a \cdot \lambda_a + w_c \cdot \lambda_c \left\{ l_c - \sqrt{H^2 + 2 \left( \frac{F_m}{w_c'} \right) H} \right\}$$



- $w_a$  錨重量
- $w_c$  単位長さ当たりの錨鎖重量
- $\lambda_a$  把駐力係数
- $\lambda_c$  摩擦係数

# 水槽実験による精度向上と検証



# 水槽実験による精度向上



内航フェリー模型 (スケール:1/36)

	模型船	実船
垂線間距離 (m)	2.78	100.1
船幅 (m)	0.52	18.7
喫水 (m)	0.14	5.0
排水容積 (m <sup>3</sup> )	0.126	5878.7
風圧側面積 (m <sup>2</sup> )	1.02	1321.9



痩せ型船型の代表



内航タンカー模型 (スケール:1/30)

	模型船	実船
垂線間距離 (m)	2.87	86.1
船幅 (m)	0.53	15.9
喫水 (m)	0.15	4.5
排水容積 (m <sup>3</sup> )	0.164	4428.0
風圧側面積 (m <sup>2</sup> )	0.64	576.0

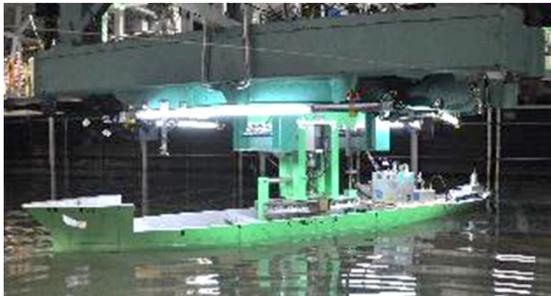
肥大船型の代表



# 水槽実験による精度向上

①船が運動したときに水から受ける力(操縦流体力)

錨泊時の運動特性に対応した水槽実験(海洋構造物試験水槽)



錨泊時の低速・大斜航状態操縦流体力推定式の決定

②船体が波から受ける力(波漂流力)

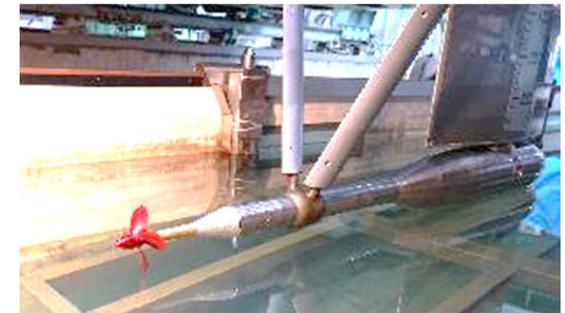
内航船模型を用いた水槽実験(実海域再現水槽)



既存の波漂流力データベースの妥当性の検証

③プロペラが発生する力(プロペラ推力)

内航船用プロペラを用いた水槽実験(中水槽)

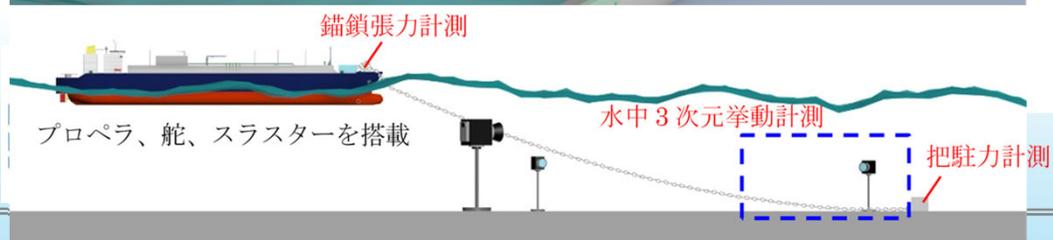
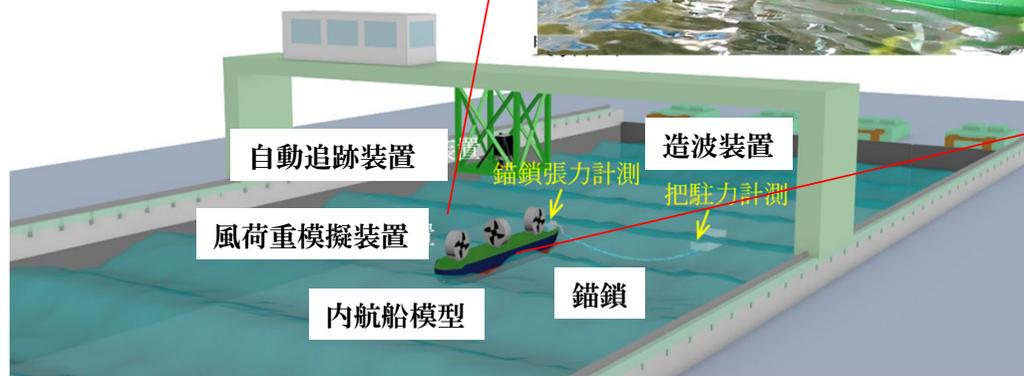


プロペラ推力近似式の妥当性の検証

# 錨泊船の振れ回り運動推定プログラムの検証

- \* 波風共存下での錨泊船の振れ回り運動に関する水槽実験
- \* 内航船の代表的な2船型（フェリー，タンカー）の模型船で実施

## 実験概要



フェリー：代表的な痩せ型船型。風圧側面積が比較的大きく、風の影響を受けやすい船型。  
タンカー：代表的な肥大船型。重大な走錨事故が発生している船型。

## 計測条件

### ○フェリー模型(実船換算)

錨泊方法：単錨泊(錨鎖長 216, 288 m)  
外力条件：風速 10 - 25 m/s,  
波高 1.6, 2.2 m, 波周期 7.3, 8.2 秒

### ○タンカー模型(実船換算)

錨泊方法：単錨泊(錨鎖長 180, 240 m),  
双錨泊(錨鎖長 180 m), 振れ止め錨  
外力条件：風速 15 - 25 m/s,  
波高 1.8, 2.3 m, 波周期 4.6 - 6.6 秒

# 錨泊船の振れ回り 運動推定プログラムの検証

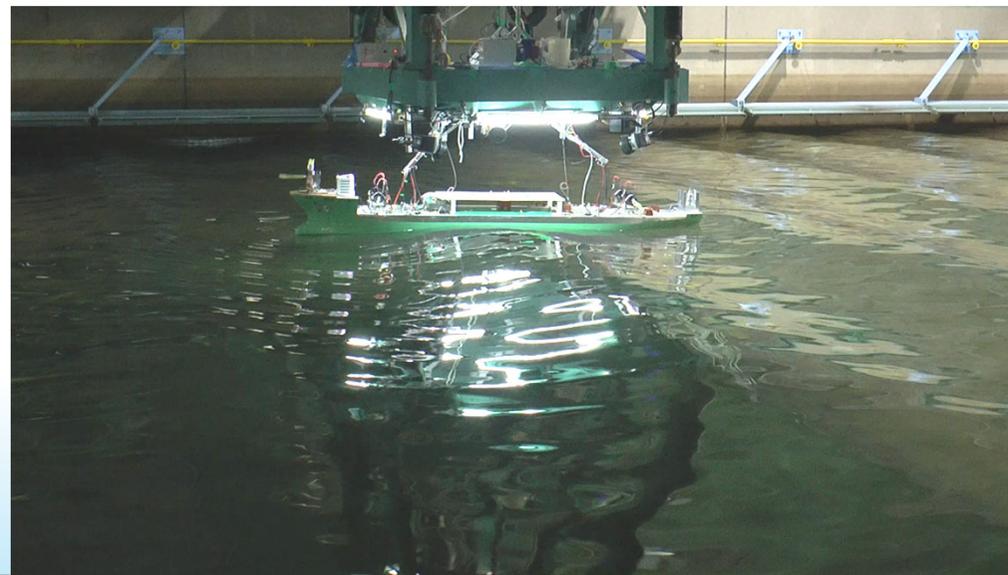
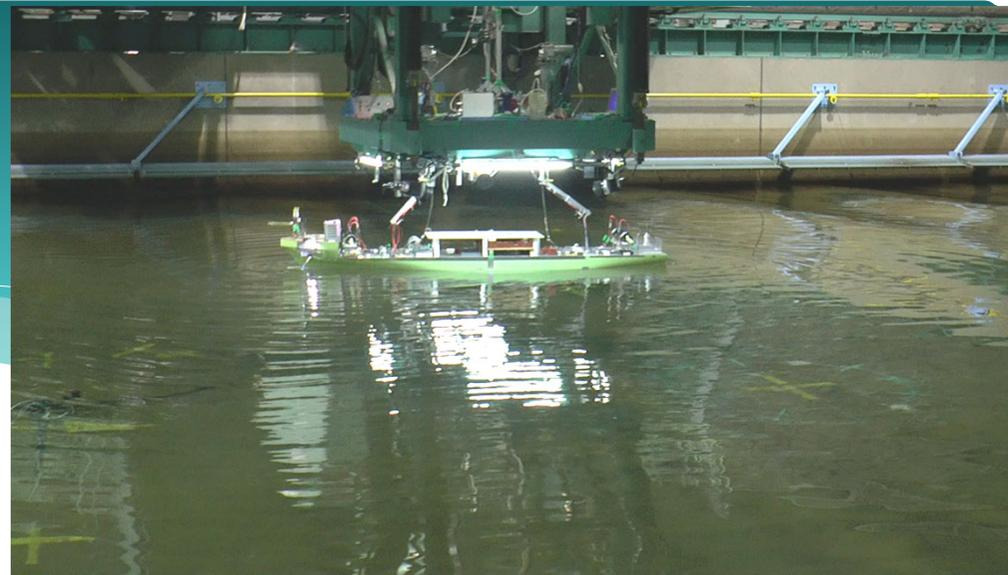
## \* 計測条件（実船換算）

### \* フェリー模型

- \* 錨泊方法： 単錨泊（錨鎖長 198m）
- \* 外力条件： 風速 15m/s, 波高 1.6m, 波周期 8.2秒
- \* 波長船長比 1.04

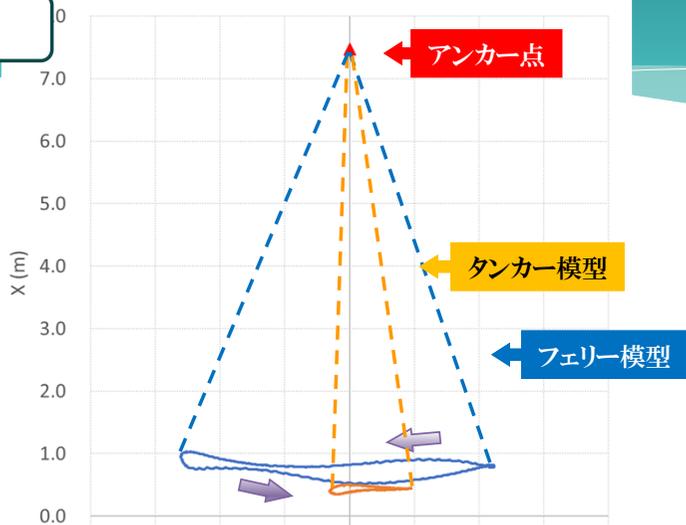
### \* タンカー模型

- \* 錨泊方法： 単錨泊（錨鎖長 180m）
- \* 外力条件： 風速 15m/s, 波高 1.8m, 波周期 6.6秒
- \* 波長船長比 0.8

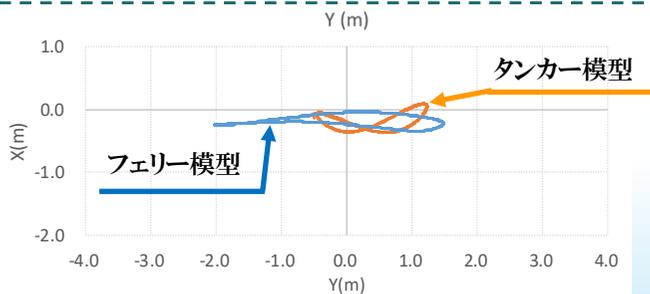


# 錨泊船の振れ回り運動推定プログラムの検証

航跡

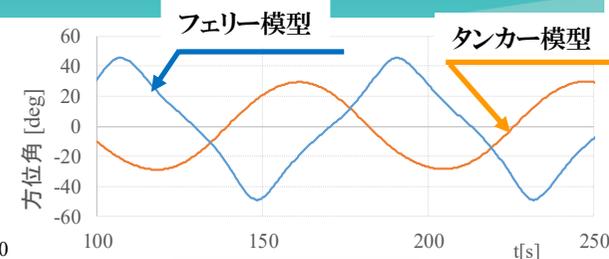
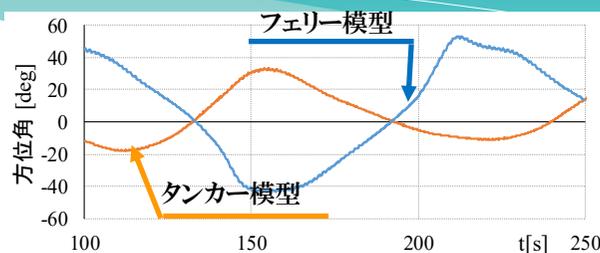


船型と振れ回り特性(振れ幅:フェリー>タンカー)の対応が一致している。



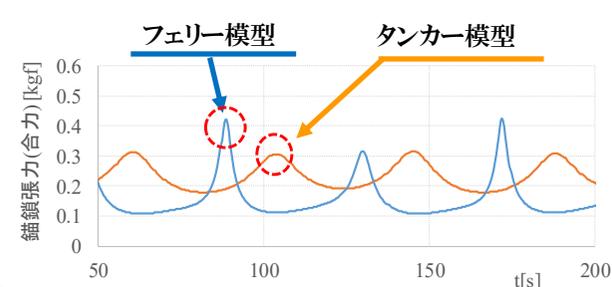
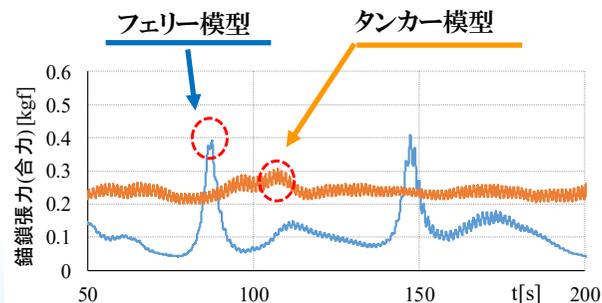
船首方位

船首方位の変動幅が計算値と計測値でほぼ一致している



錨鎖張力

錨鎖張力の最大値が計算値と計測値でほぼ一致している



錨泊条件, 外力条件を変えた計測結果との比較によりプログラムの妥当性を確認

# 走錨リスク判定システム（PC版）のデモ

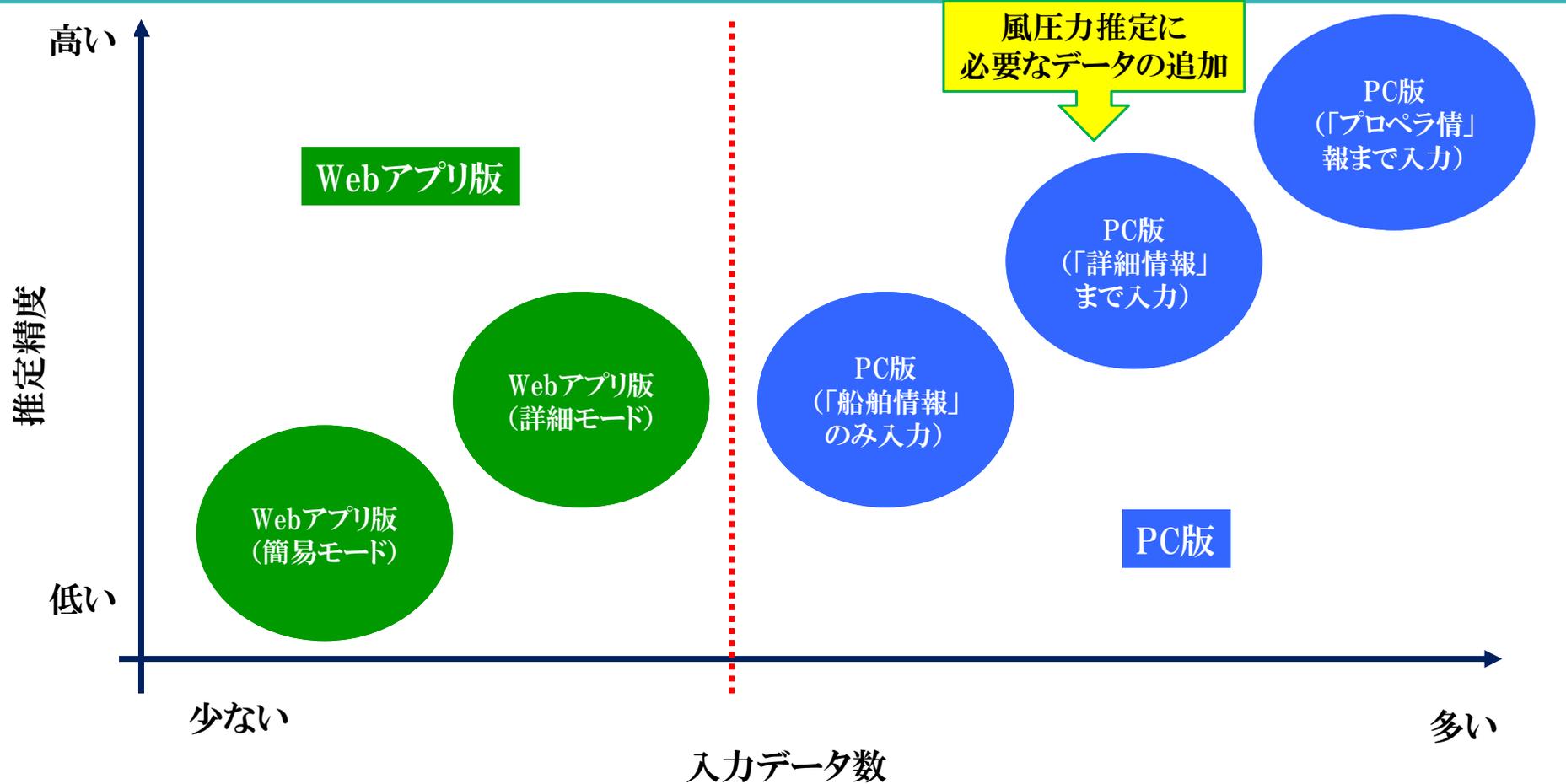


# 走錨リスク判定システムの使用について

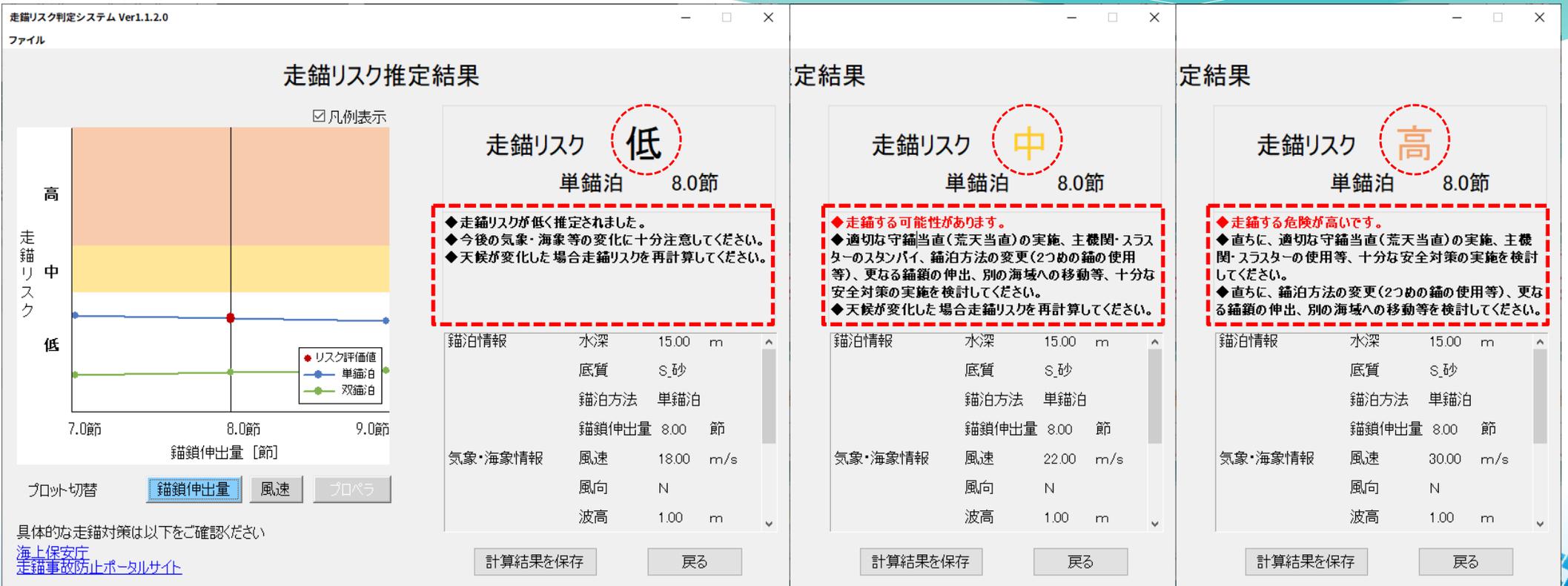
- \* 本システムは走錨を「**予防**」することを目的としています。
- \* 使用するタイミングとしては「**錨泊の前**」，または錨泊後に「**気象・海象の変化が予想される場合**」を想定しています。
- \* **錨泊の前**：  
錨泊予定地の**水深・底質**の確認し，**気象・海象情報**を事前に入手して，**適切な錨泊方法の検討**を行う  
(気象・海象情報については**揚錨までの情報**を入手する)
- \* **錨泊後**：  
気象・海象の**予報が変更された場合**には，**新たな情報を入力**して現状の錨泊方法が適切か再検討を行う  
(気象・海象情報については**揚錨までの情報**を入手する)



# 走錨リスク判定システムの種類



# 走錨リスク判定システムの推定結果表示



# 走錨リスク判定システムの入手方法

- \* 本システム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（PC版）・使用（Webアプリ版）が可能です。
- \* 本システムは無償で使用することができます。（Webアプリ版は別途通信料がかかります。）
- \* PC版はダウンロードする際に、ユーザー登録が必要となります。

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所  
海上技術安全研究所  
NMRI National Maritime Research Institute

採用情報 | 調達情報 | リンク集 | サイトマップ

ホーム | 海技研について | 新着情報 | イベント・セミナー | サービス | 研究内容 | 研究員 | お問い合わせ | アクセス

海技研 リクルート特設サイト  
国際舞台で輝け!!  
海事・海洋技術開発のエキスパートに

新型コロナウイルス関連情報  
来所者への検温の実施について 令和2年8月27日更新

MOVIE  
海技研の実験映像やホットな話題を動画で紹介致します。

NMRI Cloud

研究発表会  
海上技術安全研究所  
令和2年7月29日(木)・30日(金)にオンラインで開催いたします。  
参加登録はこちら。

船舶海洋工学研修  
海上技術安全研究所は船舶海洋工学研修を令和3年9月7日(火)～27日(月)にオンラインで開催いたします。  
詳細はこちら。

錨ing  
走錨リスク判定システム

海上技術安全研究所チャンネル  
YouTube

ここをクリック



海技研ホームページ

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所

# 走錨リスク判定システムの入手方法

NMRI Cloud

海技研クラウドとは クラウドサービス紹介 よくある質問(FAQ) お問い合わせ

錨ing (走錨リスク判定システム)

錨ingは船舶の基本情報(船種・船表)と気象・海象情報から錨泊時の走錨リスクを簡単に推定できるツールです。主に荒天下での錨泊時に船長や乗組員の判断を支援することを目的に開発されています。本ツールは無償で利用することができます。

走錨リスク判定システム PC版

使用する

Webアプリ版

PC版

## 概要

走錨の発生の主要因の一つとして錨泊時の荒天下での振れ回り運動が考えられています。荒天下で錨泊する船舶には、強風による風圧力、大きな風浪・波漂流力が作用する他、船体運動により生じる流体反力(操縦流体力)や船体の移動に伴い変動する錨鎖張力が作用し、激しい振れ回り運動が発生します。本シミュレーションプログラムでは、前述の船舶に働く外力(風圧力、波漂流力、錨鎖張力、操縦流体力)を考慮した振れ回り運動推定を行い、走錨リスクを推定しています。シミュレーションプログラムで用いられている操縦流体力と波漂流力は代表的な内航船型2種類の機型船(内航タンカー、内航フェリー)を用いた水槽実験結果を反映した推定式を適用し、風圧力については海上技術安全研究所が提案した推定式を、錨鎖の形状と張力については静的カタナリー計算法とMass法による2つの推定式を適用しています。

本アプリケーション(錨ing)はPC版とWEBアプリ版の2つが提供されています。PC版は海上技術安全研究所のダウンロードサイトからダウンロードし、WEBアプリは海技研クラウドから利用することができます。いずれも無償で利用することができます。

本アプリケーション(錨ing)は国土交通省の令和元年度補正予算事業「走錨事故の防止等に関する緊急対策」の一環で海上技術安全研究所に一部開発が行われました。

走錨リスク判定システム(錨ing)

走錨リスク判定システムは、船舶の主要目と気象・海象情報等から錨泊時の走錨リスクを簡単に推定できます。

主に荒天下が予想される海域での走錨時に船員の判断を支援することを目的に開発しました。本システムは無償で利用できます。

ご利用の方は下記申し込みフォームにご記入の上ダウンロードしていただけます。

氏名 **必須**

会社名 **必須**

担当部署名 任意

電話番号 任意

E-MAIL **必須**

利用規約を見る

利用規約に同意する

ダウンロードする際には利用規約に同意するにチェックが必要です。

ダウンロード リセット

PC版のダウンロード画面

NMRI Cloud

走錨リスク判定システム

走錨リスクをシステムで判定

無料WEBアプリケーション

走錨リスク判定システムを使用する

気象・海象予報サービスリンク

Yahoo!天気

海上保安庁 海しる (海洋状況表示システム)

気象庁

Webアプリ版のスタート画面

ここをクリック



# 利用実績 (R3.7.14現在)

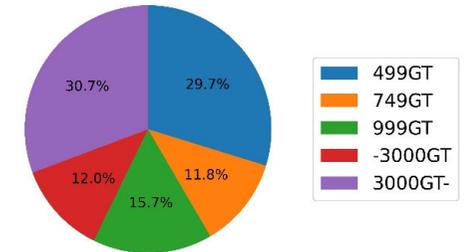
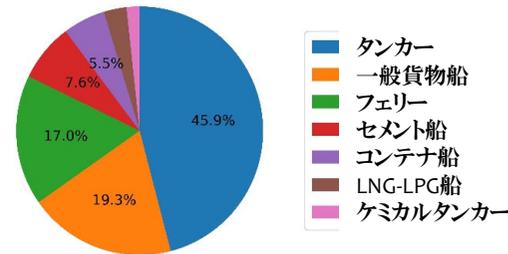
走錨リスク判定システム PC版: DVD配布数 計437枚配布先:

- 日本内航海運組合総連合会 (350枚)
- 国土交通省海事局 (15枚)
- 大阪旭海運株式会社 (17枚)
- (一社)日本船主協会 (9枚)
- (一社)日本旅客船協会 (5枚)
- その他 (41枚)

走錨リスク判定システム WEBアプリ版計算回数:

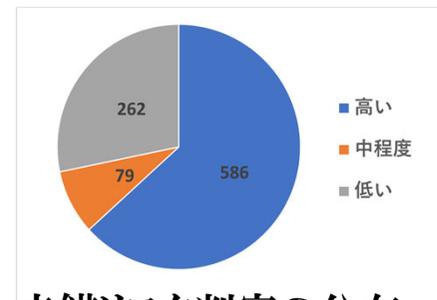
計938件

簡易モード: 730件 詳細モード: 208件



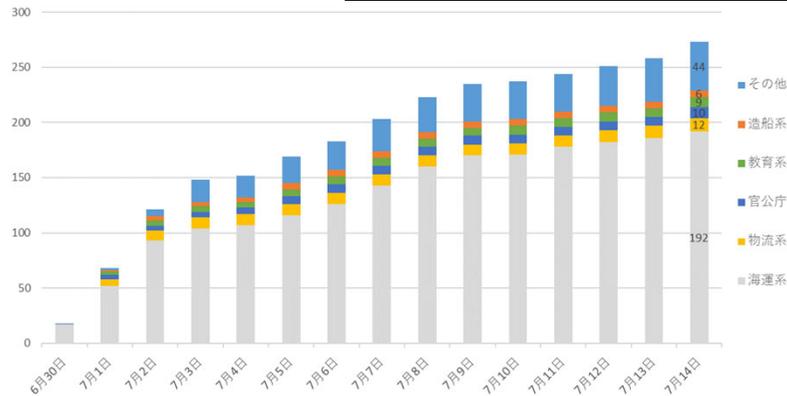
船種別の計算割合

総トン数別の計算割合



走錨リスク判定の分布

走錨リスク判定システム PC版ダウンロード数 計273件



ダウンロード数の推移

## おわりに

- \* 走錨による海難事故を防止するために、適切な錨泊地・錨泊方法の選定を支援する「走錨リスク判定システム」の開発を行った。
- \* 本システムの推定精度の向上を図るために、模型船を用いた水槽実験を行った。また、本システムの検証用に錨泊中の振れ回り運動の計測を行った。
- \* シミュレーション結果と水槽実験結果との比較により、錨泊中の振れ回り運動を実用的にシミュレーション出来ることが確認された。
  
- \* 今後は本システムを活用して、走錨を回避するための適切な錨泊方法や操船方法についても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。

