

最適曳航支援システムについて

環境・エネルギー研究領域 海洋汚染防止研究グループ *原 正一、星野邦弘、山川賢次
海洋開発研究領域 海洋資源開発グループ 湯川和浩

1. はじめに

平成 10 年度から開始した 5 年計画の国土交通省特別研究「荒天下における航行不能船舶の漂流防止等に関する研究」が、本年 3 月で終了した。本研究の目的は、荒天下において機関故障等により航行不能に陥った船舶（損傷、折損・分離、転覆により異常形状となった船舶またはその一部）の漂流を阻止し、安全な場所に曳航する技術を確立することによって、大きな二次的災害を引き起こす危険性を未然に防止することである。最終目標として最適曳航支援システムを開発し、パソコン上で航行不能船舶の漂流運動、曳航索張力、曳航操船及び曳船の曳航馬力を予測して操作者に最適な曳航支援ができる情報を提供することを目的とした。

平成 12 年度までに、母型船データを整備し、非転覆・折損状態における浸水計算プログラムを開発し、漂流抵抗、波漂流力等の計算に必要な船体の没水形状である船体最終姿勢を求めることが可能となった。平成 13 年度には、さらに船を転覆・折損状態まで拡張して浸水計算、縦強度計算を可能にし、その際の船体没水形状を使用して波漂流力計算の入力データとして必要なメッシュ作成機能を追加した。平成 14 年度は、要素技術である定常漂流運動計算プログラム、曳航索張力推定計算プログラム、波浪中馬力推定計算プログラム、曳航操船計算プログラムをリンクし、システムに組み込んだ。また、船体運動計算結果を 3 次元アニメーション表示して、3D-Web を可能にした。

本報告では、最適曳航支援システムのパソコン画面を用いて、システムの流れを詳述する。なお、完成したシステムは、海上保安庁、民間のサルヴェージ会社等により実際の曳航現場において運用評価を行い、さらに改良を進める予定である。

2. 最適曳航支援システムの概要

最適曳航支援システム（Optimum Towing Support System: OTSS）は、与えられた海象条件において、遭難船舶の漂流運動、索張力、ふれまわり幅、曳航軌跡を推定するパソコンで起動できる計算プログラムである。保有する機能については、これまで別の機会に紹介してきたので省略する^{1) 2) 3)}。

パソコンシステムの使用環境は、DOS/V 互換機を想定し、OS はマイクロソフト社の Windows とする。パソコンの仕様として、ディスプレイ は 1 0 2 4 × 7 6 8（できれば 1 2 8 0 × 1 0 2 4、14 インチ以上）、メモリーは 6 4 Mb 以上（できれば 1 2 8 Mb 以上）、CPU は 4 0 0 MHz 以上、HD は 1 回の 3600 秒の曳航計算で 3.5 Mb のデータが保存されるので、できれば余裕をみて容量を大きくとるほうがよい。

基本的に、プログラムはヴィジュアルベシック、FORTRAN 及び C++ で書かれており、対話形式で内部の計算に必要とされるデータを入力することにより、情報が入手できるシステムとなっている。

本システムの特徴のひとつは、波浪中での船体運動のシミュレーション結果をアニメーションで表示していることである。これは、ViewPoint 社のメタストリームと呼ばれる手法により、数 100Kbyte の非常に少ないデータ容量で 3D-WEB のアニメーションで船体運動を表現している。3D-WEB をエンジニアリング分野に活用できたことで画期的であるといえる。船体の表現は、上部構造物の艤装品まで忠実に描かれており美しい。

3. 最適曳航支援システムの流れ

最適曳航支援システムの流れに関してパソコン画面を用いて、詳細に解説する。全体のフローチャートを図 - 1 に示す。

（1）システムの起動

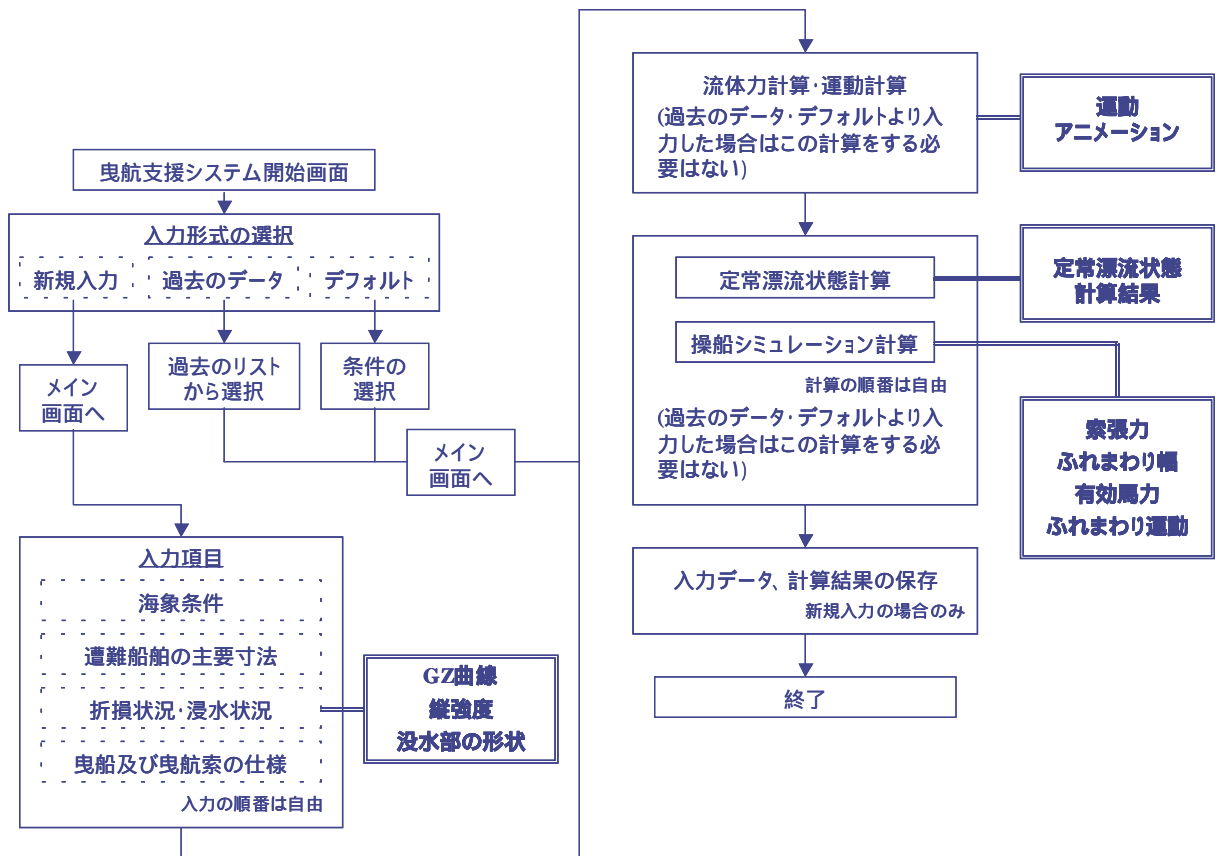


図 - 1 最適曳航支援システムのフローチャート



図 - 2 開始画面

システムの起動は、OTSS というアイコンをクリックすることにより開始画面(図 - 2)が現れる。開始ボタンを押下して次の画面に進む。

(2) 入力形式の選択

入力形式は、次に示す新規入力、過去のリスト、デフォルトの3つから選択することができる。

(a)新規入力

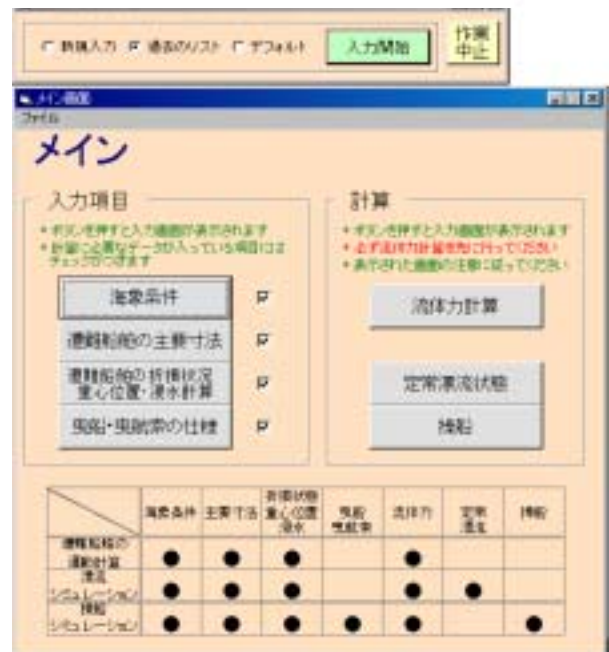


図 - 3 メイン画面

通常の場合に選択するもので個別の曳航計算が可能である。「新規入力」をチェックして、「入力開始」ボタンを押すとメイン画面(図 - 3)が現れる。

(b)過去のリスト

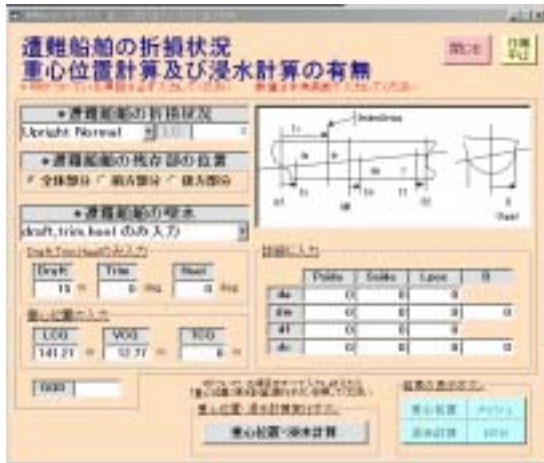


図 - 4 船体状況入力画面

過去のリストは、これまで保存した曳航データを参照するためのものである。「過去のリスト」をチェックし、入力開始ボタンを押すと新しい画面が現れる。参照したいファイルを Save フォルダの下位フォルダから選択し、「ファイルのロード」ボタンを押すと、備考欄にフォルダの作成日と主要なデータが出力される。次に「メインの画面へ」ボタンを押す。

(c)デフォルト

デフォルトは、予め定められた条件で曳航事例を設定したもので、その計算結果を参照することができる。「デフォルト」をチェックし、入力開始ボタンを押すと新しい画面が現れる。気象条件・船型・载荷状態を選択できる。気象条件(風速、波高、波周期)は7種類、船型は7種類、载荷状態は2種類で、全98パターンを収録している。

(3) メイン画面

曳航計算に必要なデータを入力する画面が現れ、各項目の入力画面が表示される。画面下の表により実施したい計算と必要な入力項目との対応関係を参照できる。

(a)海象条件

下記の海象条件を入力する。

- ・ 風速、風向
- ・ 潮流速度、潮流方向
- ・ 波高、波周期、波向き

(b)遭難船舶の主要寸法

- ・ 遭難船舶の船型

遭難船舶の船型を次の母型船データベースから選択する。母型船は、タンカー(ダブルハル)、



図 - 5 曳船画面

タンカー(シングルハル)、貨物船、コンテナ船、PCC(自動車専用運搬船)、漁船、バージである。

- ・ 遭難船舶の载荷状態(満載、軽荷)
- ・ 遭難船舶の主要寸法

情報がなければ、船長のみでもよい。この場合、遭難船舶の船長と母型船の船長の比率により、相似船型を生成する。

(c)遭難船舶の折損状況、重心位置計算及び浸水計算の有無

- ・ 遭難船舶の折損状況

Upright Normal・・・非折損非転覆

Upright Broken・・・折損非転覆

Capsize Normal・・・非折損転覆

Capsize Broken・・・折損転覆

- ・ 遭難船舶の残存部の状況

折損を選択した場合に、船尾から折損箇所までの距離を入力し、残存部を前方部分(船首)あるいは後方部分(船尾)でチェックする。

- ・ 遭難船舶の喫水

喫水の入力方法には2種類あり、船体の平均喫水、トリム、ヒールを入力する方法と詳細に船首尾部の左右舷で喫水を入力する方法がある。ただし、前者においては、船体状態によりそれぞれの定義(平均喫水、トリム、ヒールの正負)が異なるので定義を示す画面が現れる。

- ・ 重心位置・浸水計算

*マークのついた項目をすべて入力した後、重心位置及び浸水計算が可能となる。「重心位置・浸水計算」ボタンをクリックすると、Sumcalc.exe ファイルが起動して新しい画面が現れる。ここでは、



図 - 6 シミュレーション画面

重心計算を行うことができ、さらに連続した浸水状態に対応した計算を行うことができる。

画面右下に結果の表示ボタンがあり、重心位置の表示、浸水計算結果では GZ 曲線、縦強度計算結果が表示される。「メッシュ」ボタンを押すと、新しくファイルの選択画面が現れ、ここで Wtrmesh.txt ファイルを選択すると、計算しようとする船体の没水部のメッシュ表示を確認できる。これは、波漂流力等の計算をするための 3 次元特異点分布法のパネル表示である。「DTH」ボタンは、平均喫水、トリム、ヒールを表示する。

(d) 曳航索・曳船の仕様

- ・ 曳船の種類、曳船の主要寸法
- ・ 曳航索の材料、長さ、直径
- ・ 曳航速度、曳航方向の選定

遭難船舶を救助する曳船の曳航速度は、1kt 毎にその範囲を指定でき、曳航方向は 10° 毎に選定できる。

(4) 流体力、運動計算

すべての必要なデータを入力後、「流体力計算」ボタンを押して流体力（付加質量力、造波減衰力、波浪強制力）を計算し、さらに「運動計算」ボタンで船体運動、波漂流力を求める。それぞれのボタンを押すと、MS-DOS 画面が現れ計算を開始して起動している様子が見える。計算が終了すると画面が消えるので順番にボタンを押す。また、運動計算は瞬時に終了するので、次に波向きを入力して「アニメシ

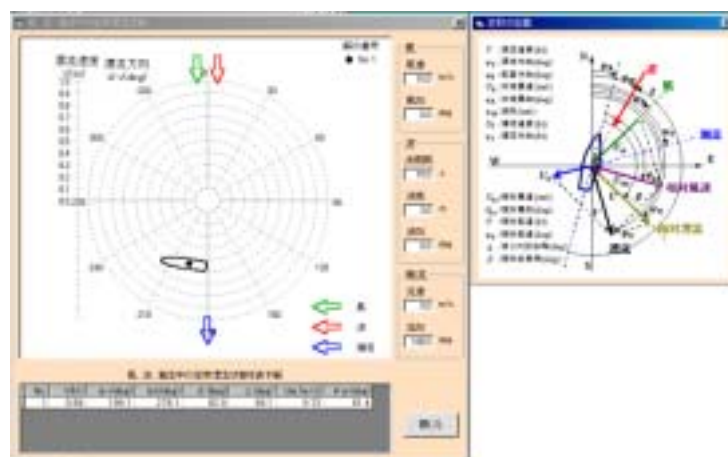


図 - 7 漂流運動予測画面

ョン」ボタンを押して船体運動アニメーションを見ることができる。

アニメーション画面では、海面を消して船体全体を表現することもでき、裸殻状態を表示することも可能であり、船体区画を確認できる。また、折損した部分の色を薄くすることによって残存船体を強調することができる。

- ・ Water Opac Low: 海面消失
- ・ Water Opac Res: 海面復帰
- ・ Naked ON: 裸殻化
- ・ Naked Off: 通常船体表示への復帰
- ・ Cut: 切断部分の透明化
- ・ Cut_Res: 通常船体表示への復帰
- ・ Reset: アニメーションのリセット
- ・ Motion_Ani: アニメーション起動

(5) 定常漂流運動の計算・描画

これまでの操作により波漂流力が計算され、これと同時に曳航時の流体抵抗、風圧抵抗が計算される。これらの外力を考慮した定常釣合方程式の計算結果は、漂流船体の船首の向き、漂流速度、漂流方向が波、風、流れの海象条件とともにグラフィックで表示されるが、解が一意的に決まらず複数解となることが有り得る⁵⁾。さらに、波、風、流れの中での定常漂流運動を表わす解として、漂流速度、漂流方向、船首方向、相対斜航角、波との出会い角、相対風速、相対風向のそれぞれの数値が表中に記述される。また、その定義がグラフで表示される。

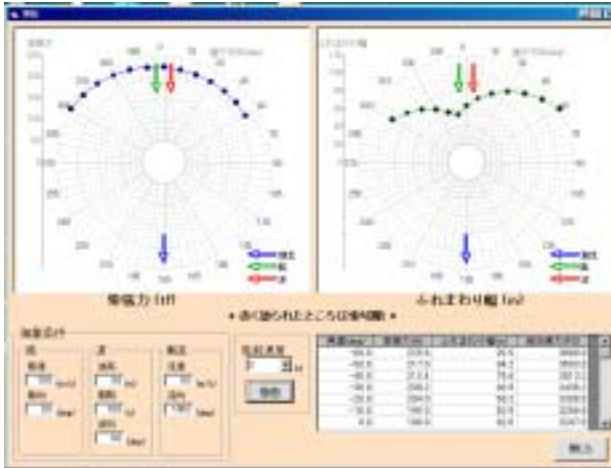


図 - 8 操船シミュレーション画面

(6) 操船シミュレーション

本画面では、曳船 被曳船の曳航系でつくる操船シミュレーション計算プログラムを起動する。曳船の操縦微係数は、巡視船模型等を用いた実験データ、数式表現された実験式、当所が開発した流体力データベースにより自動的に求められ、操縦方程式⁶⁾の解を求める。「シミュレーション計算」ボタンを押すと、MS-DOS 画面が現れる。

(7) 操船シミュレーション結果

本画面では、メイン画面で選択した曳航速度の範囲において、曳航方向 10° 毎に索張力と被曳船のふれまわり幅の計算結果が表示される。また、表中に有効馬力を加えて、その数値が記述される。計算は、実時間で 1 時間のシミュレーションであり、曳航中に索切断しない曳航可能範囲を識別できるように色の变化をつけている。それぞれの表示画面には海象条件である波、風、流れの方向が示され、それぞれの大きさとともに表中に数値で記述される。さらに、曳航速度を 1kt 毎に変えて、結果を表示させることができる。これにより、曳航速度に対する適切な操船方法を判断する情報を得ることができる。

(8) ふれまわり運動

曳船と被曳船の軌跡を時系列で平面的に描画する画面であり、被曳船のふれまわり運動などの挙動を確認できる。ここでは、外力の相対的な向きと、120 秒間隔の曳船・被曳船の位置と船体方位を描画する。同時に、索張力の時系列データも表示され、曳航速度、曳航方向を自由に入力して、描画することができる。

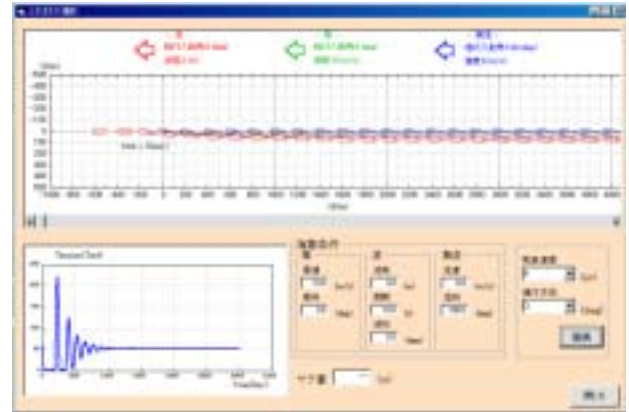


図 - 9 ふれまわり運動画面

最後に、所要の計算を終え入力条件と結果を保存する場合は、メイン画面に戻り左上隅の「ファイル」をクリックすると、保存フォルダ名を入力できる画面が現れ、「保存」ボタンを押す。保存したデータは過去のデータとして次回以降閲覧できる。

以上、最適曳航支援システムの一連の流れを紹介した。実際の遭難現場の海域は一定でなく、時間の経過とともに波、風、流れの海象条件を変化させる必要がある。その場合は、メイン画面に戻り海象条件のみを変化させることによって、新たな計算をスタートさせることができる。

4 . 最適曳航支援システムの課題

最適曳航支援システムは、海難事故に遭遇した折損、転覆を含む千差万別の状態の船舶を対象として開発を進めてきた。しかしながら、荒天下において、このような遭難船舶を操船するシミュレーション計算には、種々の計算上の制約がある。これをシステムの適用限界として、下記に列挙する。

(1) 曳航速度

波漂流力計算の仮定が速度 0 であるために、曳航速度が大きくなると波漂流力に速度影響が現れると考えられる。2-3kt では、その影響を無視できると考えてよいが、5-6kt になるとその影響が無視できない。

(2) 船体姿勢の影響

船体が大きくトリムあるいはヒールすると、風圧係数が推定できない。風圧係数は、あくまでもイーブンキールで浮かんでいる船のみのデータしか整備されていない。イーブンキール状態の場合には、各

種の船型に対応できる実験定数が整備されている。

(3) 船体形状の影響

船体が折損している場合、その流体力係数の推定は極めて難しい。現在は、流体力データベースを用いて計算しているが、操船に使用するための前後力、モーメントの推定は精度の問題がある。したがって、異常形状物体の操縦性能を推定することには限界があると言わざるを得ないが、今後データベースの蓄積により精度が改善できる。

(4) 舵の性能

詳しい2軸の舵性能データがないため、1軸の近似を行い旋回性能試験結果などと合わせて性能を決定している。こうして決めた係数を操縦方程式で使用している。

(5) 曳航点

曳航点の選択について、船首側の曳航点が一般的であるが、船尾に曳航点をとった場合の操船性能推定の精度が問題となる。船尾の操縦微係数については、実験データが極端に少なく、当所の開発した流体力データベースを利用して推定するが操船の微妙な挙動を再現できるかどうか不明である。また、計算ではトリムした船型については検証済みであるがヒール状態では今のところ計算プログラムが開発されていない。

(6) 詳細仕様

通常的使用方法として、遭難船舶の主要寸法から相似船型を生成する。船舶の詳細なデータが存在する場合、対話型の本プログラムではなく別途開発した詳細計算プログラムを使用する必要があり、そのための詳細なマニュアルを整備することも課題となる。これよりオフセット、船内区画等を任意に設定することが可能である。

5. まとめ

最適曳航支援システムは平成14年度に完成したが、今後は本システムを実際の曳航現場で活用し、その運用評価が重要となる。評価と同時に曳航を実施した際のデータがで上がるので、それを蓄積することにより曳航データベースが構築できる。そのためのプログラム整備も同時に進める予定である。

また、運用評価によりプログラムが改善でき、実用化できればインターネットを利用した曳航データ

管理システムも検討したい(図-10参照)。

本システムで開発された計算プログラムは、当所海洋開発研究領域佐藤宏主任研究員、千葉大学大学院自然科学研究科都市環境システム修士課程2年の金子誠次君の当所非常勤職員として研究に携わっていただいた功績が大きい。ここに、厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 原正一、荒天下における航行不能船舶の漂流防等に関する研究概要(最適曳航支援システムについて) 第74回船舶技術研究所研究発表会講演集、平成12年6月
- 2) 原正一、最適曳航支援システム(その1. 損傷船舶の最終姿勢) 第1回海上技術安全研究所発表会講演集、平成13年6月
- 3) 原正一、星野邦弘、湯川和浩、山川賢次、最適曳航支援システムの開発(その2) 第2回海上技術安全研究所発表会講演集、平成14年6月
- 4) 湯浅肇、3D-WEBとエンジニアリングへのインパクト、日本造船学会誌、第871号、平成15年1月
- 5) 上野道雄、二村正、宮崎英樹、航行不能船舶の定常漂流運動について、日本造船学会論文集、第192号、平成14年12月
- 6) 湯川和浩、星野邦弘、原正一、山川賢次、荒天下における折損タンカーの曳航について、日本造船学会論文集、第191号、平成14年6月

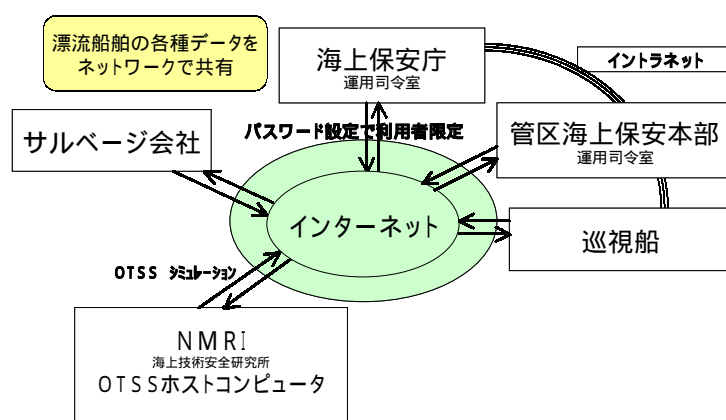


図-10 最適曳航支援システムの将来構想