

8 最適曳航支援システムの開発

(その1. 損傷船舶の最終姿勢)

海洋開発工学部 *原 正一、山川賢次
星野邦弘、湯川和浩

1. はじめに

平成10年度から5年計画で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」が開始した。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。なお、最終的に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適切な出力情報を提供する。

損傷・折損船舶が荒天下においてどのような船体姿勢で海上を漂流するかは、潮流あるいは波浪に起因する漂流抵抗あるいは曳航抵抗を予測する際に没水形状を正確に把握する必要があるために極めて重要である。本報告では、特に折損した船舶の区画浸水による船体姿勢の変化の様子を示し、復原性能の観点からの考察を行った。例として示した船型は、ダブルハルを有する大型タンカーであり、船体姿勢の計算は最適曳航支援システムを構成する技術要素のひとつである。

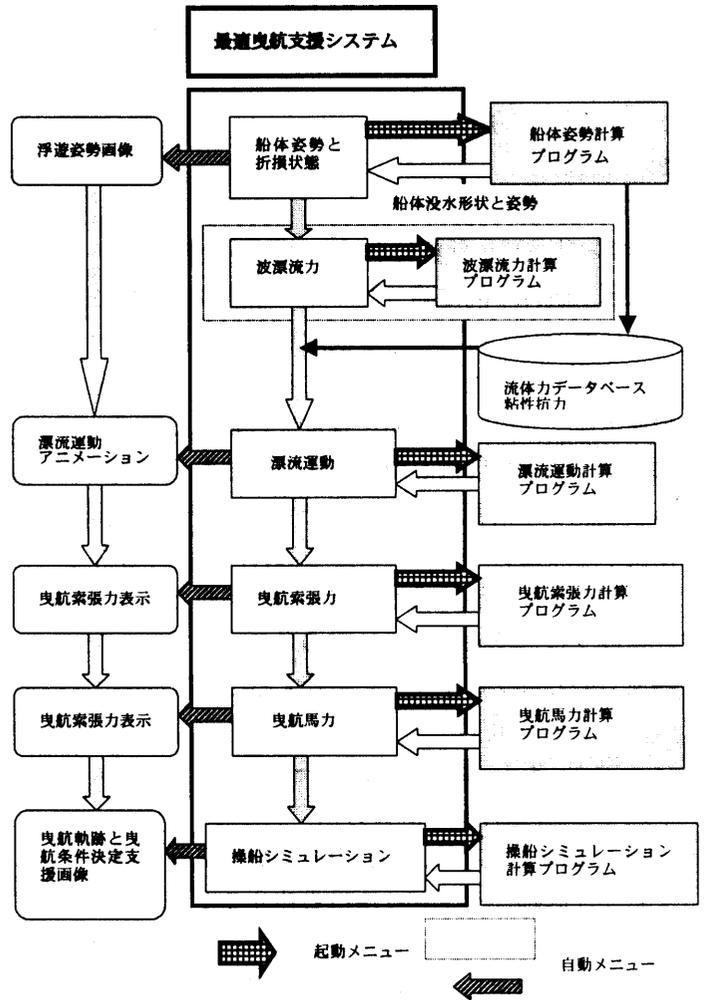


図-1 最適曳航支援システムの流れと要素技術

2. 最適曳航支援システムの流れと要素技術

最適曳航支援システムの概要は、前報で報告したとおり下記の要素技術から構成される。

- 1) 船体浸水計算
- 2) 曳航時の流体力計算
- 3) 曳航索張力の推定計算
- 4) 馬力推定計算
- 5) 操船シミュレーション計算

図-1の太い実線で囲まれた部分がシステムの主なルーチンを示している。右側部分が当所で開発予定のリンクする計算プログラムであり、左側部分がグラフィック画像関連の出力情報である。本報告では、最上部の船体姿勢を計算する浸水シミュレーションについて解説する。

図-2に1)の船体浸水計算の流れを示す。図中

表-1 母型船データの要目

船種 D/w型式	タンカーⅠ 258,000	タンカーⅡ 150,000	コンテナ船 23,700	バージ	PCC 12, 500	貨物船 18,000	漁船 499GT
Lpp (m)	320.00	265.00	200.00	70.00	180.00	156.00	53.00
B(mld) (m)	58.00	48.30	32.00	20.00	32.00	26.60	9.40
D(mld) (m)	28.80	22.40	16.50	4.00	14.00	14.10	3.95
d (mld) (m)	18.50	15.20	10.50	3.80	8.50	9.00	3.60
Cb	0.83	0.83	0.56	0.92	0.55	0.70	0.66
lcb (%)	-3.70	-3.30	2.40	-0.90	2.38	-0.54	1.15
	シングルハル	ダブルハル					

の母型船データとして表-1の2種類のタンカーを含む7つの船型に対する下記の情報が整備されている。

- (1) 主要目及び船体寸法
- (2) 区画情報
- (3) 基本積み付け状態
- (4) 基本積み付け状態における区画浸水計算

まず、航行不能に陥った船舶の船型及び主要寸法が情報として得られたと仮定して、母型船データから相似化した線図を作成する。船体内の区画情報等は、すべて母型船を基本に自動的に作成されるが、任意の区画を新たに作ることも可能である。これらの情報を元に折損を含む静水中での損傷浸水シミュレーション計算を実行できる。船体の最終姿勢から船体没水部形状を使用したメッシュ作成プログラムにより、次のステップである波漂流力の計算プログラムを起動することになる。

3. 浸水シミュレーション

3.1 計算条件及び計算方法

図-3に15万トンタンカーの船内区画の概略を示す。詳細なタンク寸法は省略するが、船首より全長の2/3の長さの点で長さ方向に直角に切断した場合を想定して、船首及び船尾が残存したそれぞれの場合で満載状態と軽荷状態の2種類の載

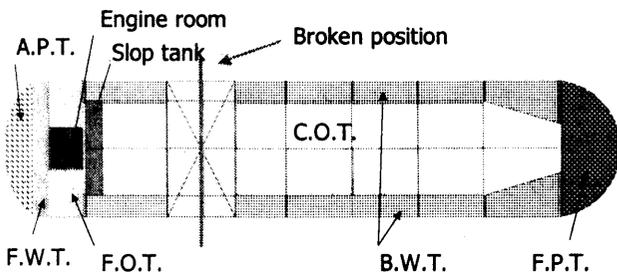


図-3 15万トンタンカーの船体内部区画の模式図

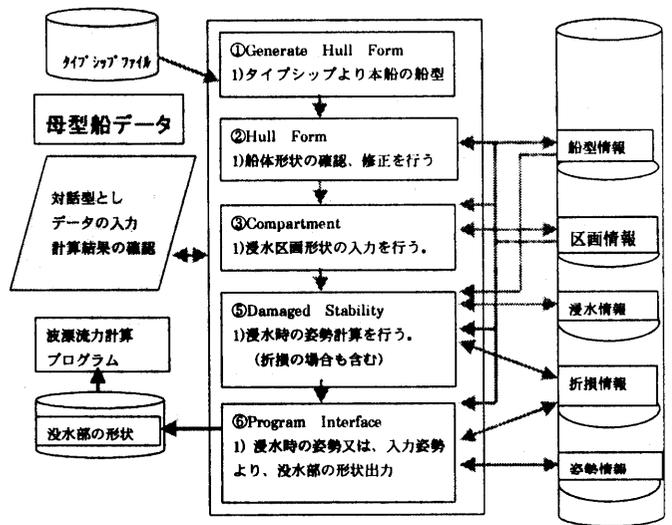


図-2 船体最終姿勢の計算の流れ

荷状態について検討した。計算では、図-4及び図-5に示すように船首残存及び船尾残存のそれぞれの場合に対して①を初期折損状態として、その後順次浸水区画を広げていった。図の塗りつぶした部分が浸水範囲である。

初期状態の重量重心は初期損傷タンクの積荷の流出を控除した値を用い（負の重量付加）、初期損傷タンクに流入した海水は含めない（浮力喪失）ものとする。計算の初期値として、初期損傷タンクの積荷の流出前のKG（重心高さ）を入力する必要がある。現実には折損船舶のKGを推定することは非常に困難であるが、仮の値であっても予測して入力しなければならない。

重量と浮力及び重心と浮心の釣り合う水面 (d_e, t_e, h_e) を求めるために、次式が成り立つように収束計算する。ただし、 d_e 、 t_e 及び h_e は、それぞれ平均喫水、ヒール及びトリムである。

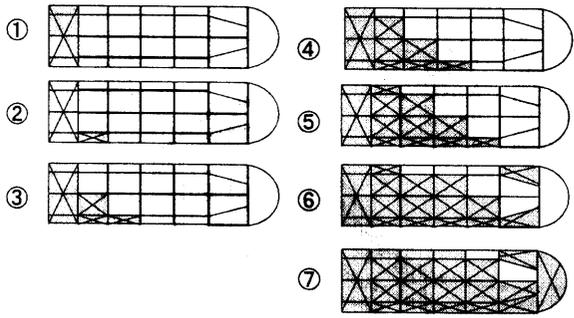


図-4 船首折損時の区画浸水順序

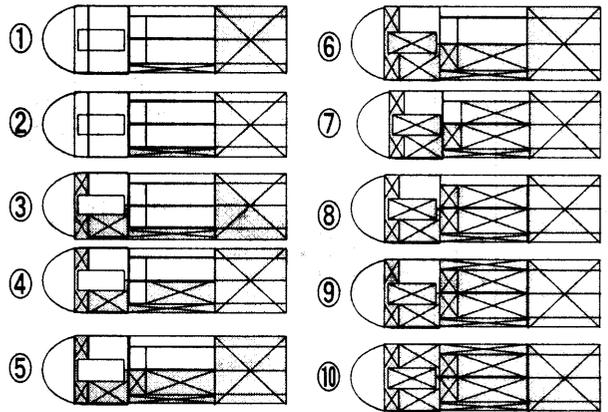


図-5 船尾折損時の区画浸水順序

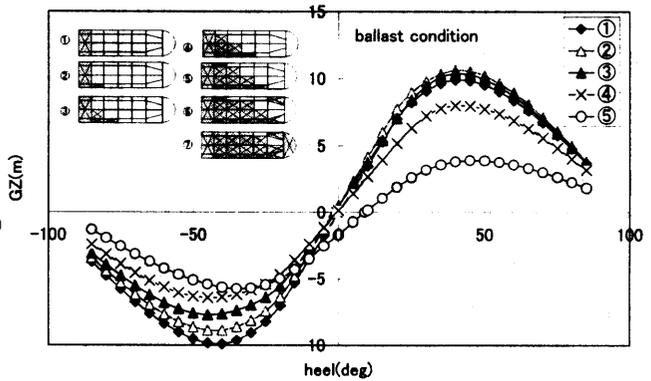
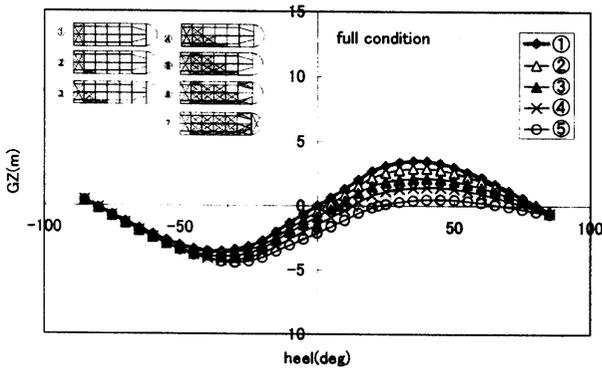


図-6 船首折損時の復原力曲線 (満載状態及び軽荷状態)

$$W_q = \Delta e$$

$$XG_q = \frac{t_e}{L_{pp}} (KG_q - ZB_e) + XB_e$$

$$YG_q = -\tan(h_e)(KG_q - ZB_e) + YB_e$$

ここで、指定された水面 (d_e, t_e, h_e) 下の重量、浮力がそれぞれ W_q 及び Δe であり、浮心

(XB_e, YB_e, ZB_e) の計算は、浮力喪失法による。

$$\Delta e = \rho_w P \sum p_j V(\varphi_j, d_e, t_e, h_e)$$

$$XB_e = \frac{\sum p_j \xi_x(\varphi_j, d_e, t_e, h_e)}{\sum p_j V(\varphi_j, d_e, t_e, h_e)}$$

$$YB_e = \frac{\sum p_j \xi_y(\varphi_j, d_e, t_e, h_e)}{\sum p_j V(\varphi_j, d_e, t_e, h_e)}$$

$$ZB_e = \frac{\sum p_j \xi_z(\varphi_j, d_e, t_e, h_e)}{\sum p_j V(\varphi_j, d_e, t_e, h_e)}$$

ここで、

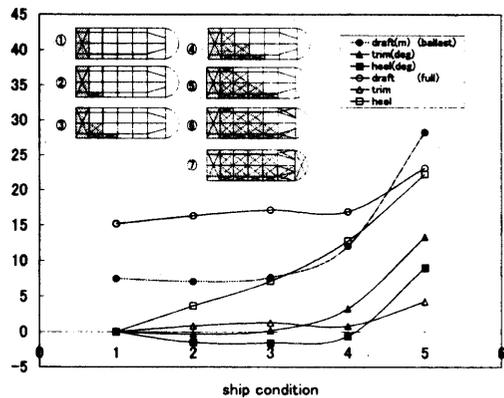


図-7 各浸水時における平衡状態 (船首折損)

ρ_w : 海水の比重

P : 係数, p_j : 構造物の係数

$V(\varphi_j, d_e, t_e, h_e)$: 構造物の形状 φ_j の水面 (d_e, t_e, h_e) 下の体積

$\xi_u(\varphi_j, d_e, t_e, h_e)$: 構造物の形状 φ_j の水面 (d_e, t_e, h_e) 下の u 方向モーメントである。

3. 3 計算結果及び考察

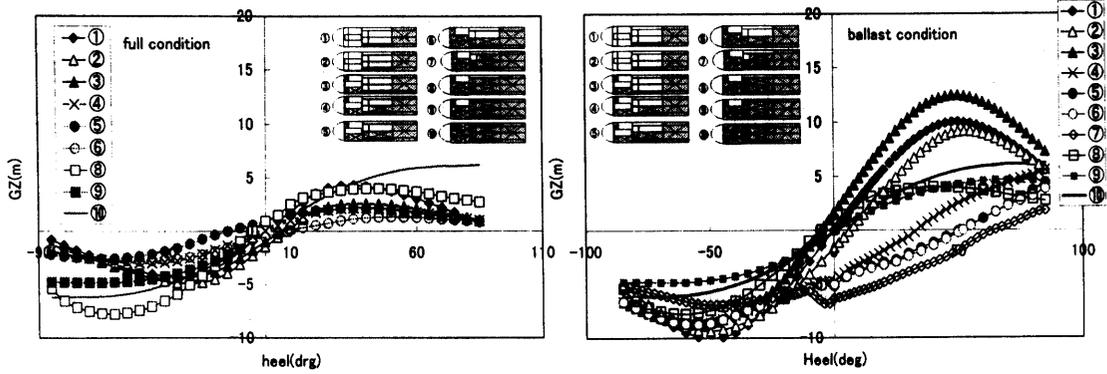


図-8 船尾折損時の復原力曲線（満載状態及び軽荷状態）

図-6に船首折損時のGZ曲線を満載状態と軽荷状態で比較を示す。ただし、右舷にヒールした場合、船首上げトリムの場合のそれぞれの符号を正とする。計算範囲は、 $-85^{\circ} \sim 85^{\circ}$ である。満載状態のほうが軽荷状態よりもかなり復原力が小さいことがわかる。⑥及び⑦の浸水状態では、平衡状態は存在しなかった。図-7に船首折損時の満載状態及び軽荷状態において、①～⑦の各浸水状態での平衡状態（平均喫水、ヒール、トリム）を示す。横軸は浸水状態の番号に対応している。特に、軽荷状態状態での⑤の浸水状態で急激な変化が起こっていることがわかる。

同様に、図-8及び図-9に船尾折損時の場合を示す。図-8より軽荷状態における変化が大きく、原油の流出のために復原力は小さくなるが軽荷状態のほうが平衡状態では安定している。また、満載状態での⑦の状態では、平衡状態が得られなかった。軽荷状態での⑦以降の浸水状態では、船体が垂直に立った状態となることが予測される。さらに、実際の現場では、波浪などの動的な影響を考慮する必要があり、船体が転覆するなどの危険な状況が予想される。

本計算プログラムは、従来の非折損状態における船舶の浸水シミュレーションを拡張したものであり、その適用範囲を明確にする必要があった。折損状態においては、トリムとヒールが同時に非常に大きくなる場合もあり、この際推定法が妥当かどうかの詳しい検討は今後の課題である。

4. まとめ

最適曳航支援システムのパソコン上での流れを

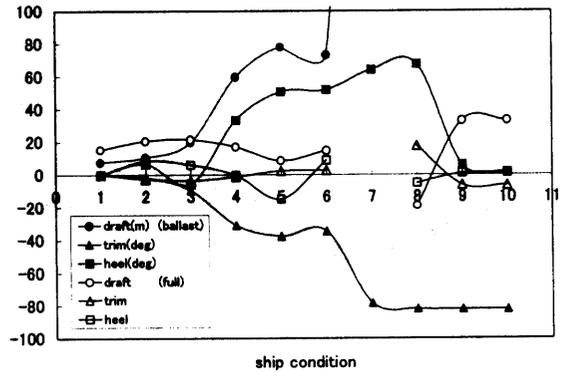


図-9 各浸水時における平衡状態（船尾折損）

示し、第1ステップである船体の最終姿勢を求める要素技術について述べた。ここで、折損船舶の浸水シミュレーション計算の1例を示したが、通常非折損船舶の平衡状態とは大きく異なり、安定あるいは不安定の判別が困難な場合もありうる。現実において、今回の浸水シミュレーションのように漸次浸水が進展していく状況は数少ないかも知れないが、次の瞬間の状況を予測するうえでのツールとして活用できると考えている。

また、過去にナホトカ号やエリカ号などの事例があるので、これらの場合に適用して検討してみ必要がある。今後、他の要素技術を総合して、全体システムに組み入れていく予定である。

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止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