損傷船舶の曳航に関する研究

正員 貴 島 勝 郎* 正員 古 川 芳 孝*
正員 岸 本 隆**

On the Towing System for Disabled Ships

by Katsuro Kijima, *Member* Yoshitaka Furukawa, *Member*
Takashi Kishimoto, *Member*

Summary

Marine disasters which cause serious environmental pollution occur frequently. Disabled ships due to marine disasters must be removed from the sea route as soon as possible. Generally disabled ships are towed by tugboats. Concerning the towing problems with tug-towed ships systems, some factors such as the length of the towing ropes, the location of the towing point and the condition of the disabled ships, etc. should be considered. However, these important factors have been left to the knowledge and the experience of towing operators up to the present time. In order to tow disabled ships safely, we need to develop the optimum method of towing systems from the viewpoint of navigational safety.

As the first stage of this research, we carried out captive model tests to measure the hydrodynamic forces acting on disabled ships. For the conditions of the disabled ships, we considered the ship which has immersed bow due to large trim angle.

Finally, applying the results of the captive model tests, we calculated the manoeuvring motions of tug and towed ships, then estimated the course stability in towing conditions.

1. 緒 言

近年、タンカーの座礁事故による原油流出事故をはじめ、様々な海難事故が世界各地で多発している。このような海難事故により自力航行不能に陥った船舶を現場海域から撤去する手段の一つとして、タグボートによって曳航する方法が考えられる。この場合、安全に損傷船を

曳航するためには、曳船・被曳船の針路安定性が重要な問題となる。しかし、この問題に関する過去の研究例は非常に少なく、タグボートの大きさや必要なタグボートの隻数、曳航索の長さ、その取り付け位置などといった曳航時における重要な諸要素については、オペレーターの経験と勘に頼っているのが現状である。従って、安全且つ迅速に曳航作業を行うためには、理論的な手法による曳航方法の解明が不可欠である。

まず本研究では、損傷船に作用する流体力を調べるために、模型船を用いて拘束模型試験を行った。ここで、タグボートが損傷船を船首方向に曳航する場合と船尾方向に曳航する場合を考慮し、この両状態において模型船に作用する流体力を計測した。また、損傷によって極端

* 九州大学大学院工学研究院

** 九州大学大学院工学研究科

に大きな傾斜角を伴ったり、船首部が没水した場合の影響を調べるために、模型船にトリム角を加えた状態での実験も合わせて行った。

最後に、曳船・被曳船の連成運動の数値計算を行うことによって、曳航索の長さやその取り付け位置等が曳船・被曳船系の針路安定性に及ぼす影響を調べ、損傷船の安全な曳航方法について検討を行った。

2. 損傷船に作用する流体力

2.1 拘束模型試験

本研究ではまず、損傷船に作用する流体力を計測するために、九州大学船舶運動性能試験水槽において VLCC 船型である模型船を用いて拘束模型試験を実施した。Table 1 にその主要目を示す。模型実験において用いた座標系を Fig.1 に示している。船体中央部を原点とし、船首方向に x 軸、右舷方向に y 軸をとっている。また、損傷による船体傾斜の影響を考慮するために船体にトリム角 θ を与え、流体力の計測装置は傾斜角によらず、常に静水面と平行になるように取り付けた。模型試験では、Fig.2 と Table 2 に示すような Case 1～Case 5 の 5 状態で流体力計測を行った。いずれも満載排水量一定の下で船体に傾斜角を与えている。ここで、Fig.2 に示すように Case 3～Case 5 においては船首部分が水面下に没水した状態であり、模型試験では、実船のような上甲板部の構造物や Forecastle 等の形状は考慮せず、全船長に渡って上甲板が Flat な形状の船型を用いた。

船首部分が没水していない Case 1, 2 においては、曳

船が損傷船を船首方向に曳航する場合と、船尾方向に曳航する場合の両状態を想定し、斜航角 β を $-12.5^\circ \sim 12.5^\circ$ の範囲と $167.5^\circ \sim 192.5^\circ$ の範囲で、回頭角速度 r を多様に変化させながら実験を行った。船首部分が没水している状態の Case 3～Case 5 においては船尾方向曳航時のみを想定して実験を行った。

2.2 実験結果

Fig.3 と Fig.4 にそれぞれ Case 1, 2 の前進時における船体に作用する横力 Y' と回頭モーメント N' の実験結果を示しており、横軸に斜航角 β 、縦軸にそれぞれ横力と回頭モーメントの無次元値 Y' 、 N' をとっている。また、回頭角速度 r を船速 U 、船長 L で無次元化した値 $r' (= rL/U)$ を、それぞれ 0.0, 0.3125, 0.4750, 0.6375, 0.80 と変化させた時の実験結果を図中の ○, △, □, ▽, ◇ 印で示している。これらの図を見ると横力 Y' においては Case 1, 2 の両状態についてあまり大きな差は見られないものの、船体傾斜の影響によって、Case 2 の回頭モーメント N' の値が特に大きくなっていることが分かる。

Fig.5 と Fig.6 に同じく Case 1, 2 の後進時におけ

Fig. 1 Coordinate System

Table 1 Principal Dimensions of Model Ship (VLCC)

Length L (m)	2.5000
Breadth B (m)	0.4077
Depth D (m)	0.2462
draft d (m)	0.1696
Block Coef. C_b	0.8310

Table 2 Conditions for Experiments

	θ (deg.)	towing direction
Case 1	0.0	forward & backward
Case 2	3.0	forward & backward
Case 3	4.5	backward
Case 4	6.0	backward
Case 5	8.0	backward

Fig. 2 Conditions for Experiments

る実験結果を示している。まず、Case 2 の β が 180° 付近における斜航時の横力 Y' の変化を見ると、Case 1 と比べかなり大きくなっていることが分かる。また、 β に対する回頭モーメント N' の推移に着目すると、Case 1 のそれとは逆の傾向を示していることが分かる。これは船体に船首トリムが加わったことによって、流体力の着力点が大きく船首側へ移動したためだと考えられる。

Fig.7 ~ Fig.9 は、船首部が没水した Case 3 ~ Case 5 の後進時における実験結果を示している。これを見ると Case 3, 4 においては横力 Y' 、回頭モーメント N' 共に特に大きな差異は見られない。しかし、船体の傾斜角が極端に大きな Case 5 においては、 β が

180° 付近での横力 Y' と回頭モーメント N' の変化が Case 3, 4 と比較すると非常に大きくなっていることが分かる。これは、船首没水部付近の船底から甲板へ回りこむ流れに、大きな変化が生じたためだと考えられる。

3. 曳船・被曳船系の連成運動

3.1 運動方程式

曳船・被曳船の連成運動においては、以下のような仮定を設ける。

- 静水面上での運動を考え、波や潮流等の影響は考慮しない。

Fig. 3 Experimental Results
(Case 1 : Forward Motion)

Fig. 5 Experimental Results
(Case 1 : Backward Motion)

Fig. 4 Experimental Results
(Case 2 : Forward Motion)

Fig. 6 Experimental Results
(Case 2 : Backward Motion)

Fig. 7 Experimental Results
(Case 3 : Backward motion)

Fig. 8 Experimental Results
(Case 4 : Backward Motion)

- 曳船・被曳船間の相互干渉は、曳航索の張力によるものだけを考える。
- 曳航索は常に直線状に張られているものとする。
- 曳航索の質量、弾性は無視出来るものとする。

ここで、Fig.10 に示すような座標系を考える。まず、 $o-x_0y_0$ を空間固定座標系とし、船体固定座標系は曳船 ($i=1$)、被曳船 ($i=2$) のそれぞれの船体の重心位置 G_i を原点とし、船首方向に x_i 軸、右舷方向に y_i 軸をとる。両船は、船速 U_i 、回頭角速度 r_i を伴って運動するものとし、 X_i 、 Y_i は船首方向、右舷方向に作用す

Fig. 9 Experimental Results
(Case 5 : Backward Motion)

Fig. 10 Coordinate Systems

る力、 N_i は重心まわりの回頭モーメントを示している。また、斜航角 β_i 、回頭角 ψ_i 、曳航角 ε_i (被曳船と曳航索のなす角度) はそれぞれ図に示す方向を正としている。

従って、曳船と被曳船のそれぞれにおいて成り立つ運動方程式は次式のようにになる。

$$\left. \begin{aligned} (m'_i + m'_{xi}) \left(\frac{L_i}{U_i} \right) \left\{ \frac{\dot{U}_i}{U_i} \cos \beta_i - \dot{\beta}_i \sin \beta_i \right\} \\ + (m'_i + m'_{yi}) r'_i \sin \beta_i = X'_i \\ -(m'_i + m'_{yi}) \left(\frac{L_i}{U_i} \right) \left\{ \frac{\dot{U}_i}{U_i} \sin \beta_i + \dot{\beta}_i \cos \beta_i \right\} \\ + (m'_i + m'_{xi}) r'_i \cos \beta_i = Y'_i \\ (I'_{zzi} + i'_{zzi}) \left(\frac{L_i}{U_i} \right)^2 \left(\frac{\dot{U}_i}{L_i} r'_i + \frac{U_i}{L_i} r'_i \right) = N'_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし、無次元化は以下の式に従う。

$$\left. \begin{aligned} m'_i, m'_{xi}, m'_{yi} &= \frac{m_i, m_{xi}, m_{yi}}{\frac{1}{2}\rho L_i^2 d_i}, \\ I'_{zzi}, i'_{zzi} &= \frac{I_{zzi}, i_{zzi}}{\frac{1}{2}\rho L_i^4 d_i}, \\ X'_i, Y'_i &= \frac{X_i, Y_i}{\frac{1}{2}\rho L_i d_i U_i^2}, \\ N'_i &= \frac{N_i}{\frac{1}{2}\rho L_i^2 d_i U_i^2}, \\ r'_i &= \frac{r_i L_i}{U_i} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3.2 外力の表現方法

(1) 式における右辺の外力の項 X'_i, Y'_i, N'_i については曳船、被曳船に対してそれぞれ次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} X'_1 &= X'_{H1} + X'_{P1} + X'_{R1} + X'_{T1} \\ Y'_1 &= Y'_{H1} + Y'_{R1} + Y'_{T1} \\ N'_1 &= N'_{H1} + N'_{R1} + N'_{T1} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} X'_2 &= X'_{H2} + X'_{T2} \\ Y'_2 &= Y'_{H2} + Y'_{T2} \\ N'_2 &= N'_{H2} + N'_{T2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで、添字 H は主船体に作用する流体力の項を表しており、これについては拘束模型試験結果を用いた。また、添字 P, R はプロペラおよび舵に作用する流体力の項を表しており、これらの表現方法は文献¹⁾と同様であるのでここでは省略する。 T は曳航索の索張力による外力を表している。被曳船に働く外力については、プロペラや舵に作用する流体力を省略し、主船体に作用する流体力と曳航索の張力による外力のみが働くものと仮定した。ここで、索張力は被曳船の直進時の抵抗 $X'_{H2}(0)$ を用いて次のような式で表現した²⁾。

$$T' = -X'_{H2}(0)\{1 + 13(\beta_2 - \varepsilon_2)^2\} \quad (5)$$

この索張力によって曳船・被曳船に作用する力と回頭モーメントはそれぞれ次式の様に表すことができる。

$$\left. \begin{aligned} X'_{T1} &= -T' \cos(\psi_1 - \psi_2 - \varepsilon_2) \\ Y'_{T1} &= -T' \sin(\psi_1 - \psi_2 - \varepsilon_2) \\ N'_{T1} &= T' \cdot x'_a \cdot \sin(\psi_1 - \psi_2 - \varepsilon_2) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} X'_{T2} &= T' \cos \varepsilon_2 \\ Y'_{T2} &= -T' \sin \varepsilon_2 \\ N'_{T2} &= -T' \cdot x'_f \cdot \sin \varepsilon_2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ここで、 x'_a, x'_f は曳船、被曳船の重心位置から各々の曳航点までの距離を船長 L_i で無次元化した値を表している。

4. 曳船・被曳船系の針路安定性

(1) 式の運動方程式を基に、曳船・被曳船系の針路安定性について検討する。本研究では水平面内の両船の運動において、特に針路安定性に及ぼす影響が大きいのと考えられる横力と回頭モーメントに着目し検討を行った。今、曳船、被曳船の速度は一定であるとする、回頭角速度 r'_i と回頭角 ψ_i には次式のような関係が成り立つ。

$$r'_i = \frac{L_i \dot{\psi}_i}{U} \quad (U \equiv U_1 = U_2) \quad (8)$$

ここで、両船の回頭角 ψ_1, ψ_2 、斜航角 β_1, β_2 、曳航角 ε_2 の変化は小さいと仮定して、線形項のみを取り扱うものとする、(1) 式は次のように表すことができる。

$$\left. \begin{aligned} -(m'_i + m'_{yi}) \left(\frac{L_i}{U} \right) \dot{\beta}_i \\ + (m'_i + m'_{xi}) \left(\frac{L_i}{U} \right) \dot{\psi}_i = Y'_i \\ (I'_{zzi} + i'_{zzi}) \left(\frac{L_i}{U} \right)^2 \ddot{\psi}_i = N'_i \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

ここで、(9) 式を $\ddot{\psi}_1, \ddot{\psi}_2, \ddot{\varepsilon}_2, \ddot{\beta}_1$ について解き、右辺をそれぞれ H, I, J, K とおけば次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \dot{\psi}_1 &= H(\dot{\psi}_1, \dot{\psi}_2, \dot{\varepsilon}_2, \dot{\beta}_1, \psi_1, \psi_2, \varepsilon_2) \\ \frac{d}{dt} \dot{\psi}_2 &= I(\dot{\psi}_1, \dot{\psi}_2, \dot{\varepsilon}_2, \dot{\beta}_1, \psi_1, \psi_2, \varepsilon_2) \\ \frac{d}{dt} \dot{\varepsilon}_2 &= J(\dot{\psi}_1, \dot{\psi}_2, \dot{\varepsilon}_2, \dot{\beta}_1, \psi_1, \psi_2, \varepsilon_2) \\ \frac{d}{dt} \dot{\beta}_1 &= K(\dot{\psi}_1, \dot{\psi}_2, \dot{\varepsilon}_2, \dot{\beta}_1, \psi_1, \psi_2, \varepsilon_2) \\ \frac{d}{dt} \psi_1 &= \dot{\psi}_1 \\ \frac{d}{dt} \psi_2 &= \dot{\psi}_2 \\ \frac{d}{dt} \varepsilon_2 &= \dot{\varepsilon}_2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

ここで、(10) 式の解を次のように仮定する。

$$\left. \begin{aligned} \dot{\psi}_1 &= A_1 e^{\lambda t}, \quad \dot{\psi}_2 = A_2 e^{\lambda t}, \\ \dot{\varepsilon}_2 &= A_3 e^{\lambda t}, \quad \dot{\beta}_1 = A_4 e^{\lambda t}, \\ \psi_1 &= A_5 e^{\lambda t}, \quad \psi_2 = A_6 e^{\lambda t}, \\ \varepsilon_2 &= A_7 e^{\lambda t} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ただし、 $A_i (i = 1 \sim 7)$ は定数である。(11) 式を (10) 式に代入すると次式のような A_i についての連立方程式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} k_{11}A_1 + \cdots + k_{17}A_7 &= \lambda A_1 \\ k_{21}A_1 + \cdots + k_{27}A_7 &= \lambda A_2 \\ k_{31}A_1 + \cdots + k_{37}A_7 &= \lambda A_3 \\ k_{41}A_1 + \cdots + k_{47}A_7 &= \lambda A_4 \\ A_1 &= \lambda A_5 \\ A_2 &= \lambda A_6 \\ A_3 &= \lambda A_7 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

(12) 式が $A_i = 0$ 以外に解を有するためには、次式の固有方程式を満足しなければならない。

$$|K - \lambda I| = 0 \quad (13)$$

ただし、

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} & k_{17} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} & k_{27} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} & k_{37} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} & k_{47} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

である。(13) 式を展開すると λ についての 7 次方程式が得られ、これを解くことで針路安定・不安定を判別することが出来る。即ち、 λ の実部が全て負であれば針路安定となる。

5. 数値計算例および考察

5.1 計算条件

本研究では、計算対象船型は曳船については SR108 Container 船型をタグボートの船長程度にスケールダウンしたものとし、その主要目を Table 3 に示す。被曳船については拘束模型試験と同様の VLCC 船型を用い、Case 1 ～ Case 5 の 5 状態において Table 4 に示すように船長を 225m, 275m, 325m と変化させて曳船と被曳船の船長比の影響を検討する。数値計算では模型実験と同様に、船首部分が没水していない Case 1, 2 においては被曳船を船首方向に曳航する場合と船尾方向に曳航する場合の両状態について検討し、Case 3 ～ Case 5 については、船尾方向曳航時のみについて検討した。また、曳航索は曳船の重心位置に固定し、被曳船側の曳航点や曳航索の長さを変化させながら数値計算を行った。さらに、針路安定判別の結果に基づいて、次式に示すよ

Table 3 Principal Dimensions of Tugboat

$L_1(m)$	75.000
$B_1(m)$	10.875
$d_1(m)$	4.0725
C_{b1}	0.5717

Table 4 Principal Dimensions of Towed Ships

	A	B	C
$L_2(m)$	225.00	275.00	325.00
$B_2(m)$	36.69	44.85	53.00
$d_2(m)$	15.27	18.66	22.05
C_{b2}	0.831	0.831	0.831

うな比例操舵を考慮し、曳航運動シミュレーション計算を行った。

$$\delta = K_1(\psi_1 - \psi_0) + K_2(r' - r'_0) \quad (15)$$

ここで、 δ は曳船の舵角で右舵を正とし、最大操舵角を $\pm 10^\circ$ とする。また、 K_1, K_2 は比例定数でそれぞれ $-5.0, -1.0$ と設定し、 ψ_0 は目標回頭角を示しており、 r'_0 はここでは 0 とする。このとき曳船のプロペラ回転数は 5 kt 直進時の曳船・被曳船の全抵抗と釣り合う推力を算出することで求め、この値は常に一定とした。

5.2 針路安定性

Fig.11 は Case 1 に示した傾斜角を伴わない船体を船首方向に曳航した時における針路安定判別の計算結果を示している。横軸は曳航索の長さ ℓ の無次元値 $q (= \ell/L_2)$ 、縦軸は被曳船側の重心位置から曳航点までの距離 x_f の無次元値 $p (= x_f/L_2)$ を表している。また、図中の実線、破線、一点鎖線はそれぞれ曳船・被曳船の船長比 L_2/L_1 を 3.0, 3.67, 4.33 と変化させた時の安定領域と不安定領域の境界を示している。これを見ると曳航点を船首端より前方に置くことにより被曳船の大きさに関らず、広範囲で安定領域が得られていることが分かる。

Fig.12 は Case 2 の状態に対して、船首方向に曳航した時の計算結果である。船長比 L_2/L_1 が 4.33, 3.67 の場合には、曳航点を少なくとも $0.7 L_2$ 以上前方に取らなければ安定領域が得られず、船長比 L_2/L_1 が 3.0 の場合では、図中の左上の非常に狭い領域においてのみ針路安定となっている。このように大きな船首トリムを伴う船体は流体力の着力点が船首方向へ大きく移動し、

被曳船の針路を維持させようとする索張力の効果が減少することが考えられる。特にこのような場合、船長比 L_2/L_1 が小さい曳船・被曳船の間に振れ回り運動が生じ始めると、相互に励起し合い安定性が悪くなるのではないかと考えられる。

Fig.13 と Fig.14 は Case 2, 3 に対して船尾方向に曳航した時の計算結果を示している。双方とも船首方向曳航時と比較すると、かなり広範囲で安定領域が得られていることが分かる。このことから、VLCC 船型のような肥大船や船首トリムを伴う船体を曳航する場合には、針路安定性の観点から検討すると、船尾方向へ曳航する方が望ましいと考えられる。

Fig.15 と Fig.16 に Case 3, 4 に対する計算結果を示している。これらは船首が没水した状態であるが、船尾方向に曳航することで広い範囲で安定領域が得られている。このような場合は、被曳船に働く流体力の着点と曳航点との距離が大きくなり、曳船・被曳船系の針路保持が容易になることが考えられる。

Fig.17 は Case 5 に対して船尾方向に曳航した時の

計算結果である。Case 3, 4 の場合と比較すると、船長比 L_2/L_1 が 4.33 の場合において安定領域の範囲が減少していることが分かる。これは模型実験の結果にも示されたように、船首部分が没水しさらに大きな傾斜角が加わったことで船体周りの流れが大きく変化したためであると考えられる。

5.3 曳航運動のシミュレーション計算

Fig.18 は 船首側に傾斜した船体 (Case 2) を船首方向に曳航した場合の曳船・被曳船の運動シミュレーション計算結果を示している。図はいずれも、(15) 式の操舵方法に従い、目標回頭角 ψ_0 を 0° とし、初期船速 5 kt で直進させた場合の計算結果であり、図中の船影は 170 秒間隔で表示している。まず、Fig.18 の左図は、 $p = 0.85$, $q = 1.50$ とし、異なる船長比で船首方向に曳航した場合の計算結果である。曳船・被曳船系は、Fig.12 より 船長比 L_2/L_1 が 3.67 の時、安定領域内にあり 3.00 の時、不安定領域内にあることが分かる。図に示しているシミュレーション計算結果を比較す

Fig. 11 Course Stability
(Case 1 : Forward Towing)

Fig. 13 Course Stability
(Case 1 : Backward Towing)

Fig. 12 Course Stability
(Case 2 : Forward Towing)

Fig. 14 Course Stability
(Case 2 : Backward Towing)

Fig. 15 Course Stability
(Case 3 : Backward Towing)

Fig. 16 Course Stability
(Case 4 : Backward Towing)

Fig. 17 Course Stability
(Case 5 : Backward Towing)

Fig. 18 Trajectories of Ships (Case 2)
Forward Towing : $\psi_0 = 0^\circ$

Fig. 19 Trajectories of Ships (Case 2)
Backward Towing : $\psi_0 = 0^\circ$

ると、両状態の航跡に明確な差が現れている。このように、船首トリムを伴う船体を船首方向に曳航する場合には、船長比 L_2/L_1 の影響が大きく反映されることが分かる。

Fig.19 は、Fig.18 に示したシミュレーションと同じ条件の下で、船尾方向に曳航した場合の計算結果である。Fig.14 から分かるように、船尾方向曳航時には両状態とも曳船・被曳船系は安定領域内にあり、計算結果を見ても両船ともに安定した針路を保持することが可能となっている。これらのことから、船首側へ傾斜した

Fig. 20 Trajectories of Ships (Case 5)
Backward Towing : $\psi_0 = 0^\circ \rightarrow 15^\circ$

船体は船尾方向へ曳航の方が望ましいと考えられる。

Fig.20 では、Case 5 において船尾方向に曳航し、ここでは被曳船の重心位置が図中の破線に到達するまで、目標回頭角 ψ_0 を 0° にて直進させ、その後、 ψ_0 を 15° に変化させて両船の針路を変更させている。図はいずれも $p = 0.5$, $q = 1.0, 3.0$ とし、曳航索の長さが変針運動に及ぼす影響を比較したものである。これを見ると、針路変更の後、曳航索の長い場合において曳船に不安定な挙動が認められる。また、変針完了後の 2 船間の航路差が比較的大きく開いていることが分かる。狭い港湾内や狭水道においては、針路変更時の被曳船の追従性を考慮すると、曳航索は極力短くすべきである。

6. 結 言

本研究では、被曳船の大きさ、傾斜状態によって曳船・被曳船系の針路安定性に及ぼす影響について理論計算を行い、安全な曳航作業を行うための曳航索の長さ、曳航方向や曳航点位置等について検討を行った。その結果、以下のような結論に至った。

- VLCC 船型のような肥大船型や船首トリムを伴う船体を曳航する場合には針路安定性の観点から検討すると、船尾方向に曳航の方が望ましい。
- 船首トリムを伴う船体を船首方向に曳航する場合には、曳航索を長くするよりも曳航点を極力前方に位置するようにすべきである。

- 被曳船の流体力の着力点が曳航点に近い場合には、曳船の大きさが針路安定性に大きな影響を及ぼすものと考えられる。このような場合には、曳船・被曳船の共振を防ぐために曳船と損傷船の大きさが同程度にならないように配慮するべきである。
- さらに大きな船首トリムによって船首が没水したような船体を曳航する場合においても、船尾方向へ曳航すれば安定した曳航作業が可能であると考えられる。
- 針路を変更する際には曳航索の長さが両船の追従性に影響を及ぼすため、直進時において針路安定な曳船・被曳船系においても、曳航索は極力短くすべきである。

本研究では船首が没水した状態の船体を船尾方向に運動する時の流体力を模型試験を行って計測したが、傾斜角が 4.5° , 6.0° では、流体力、針路安定性共に大きな差は見られなかったが、傾斜角 8.0° になると前者と比較して明確な差が現れた。これについては、傾斜角が増大すると共に、没水した船首付近の流れの変化が流体力へ及ぼす影響について、今後詳しく検討する必要がある。

また、実際の曳航作業の安全性を考慮するために、波や潮流、風等の外乱要素についても今後、検討を行う必要がある。

参 考 文 献

- 1) Kijima, K., Katsuno, T., Nakiri, Y. and Furukawa, Y. : On the Manoeuvring Performance of a Ship with the Parameter of Loading Condition, Jour. of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.168 (1990), pp.141-148
- 2) 貴島勝郎, 和田洋二郎 : 風圧下における被曳船の針路安定性, 日本造船学会論文集, 第 153 号 (1983), pp.117-126