船底下抵抗板の振れ回り抑制効果について

井上欣三*・花房元顕**・小徳義之***

Under Keel Vertical Fin as an Effective Safe Measure for Anchoring Vessel

Kinzo INOUE, Motoaki HANAHUSA and Yoshiyuki KOTOKU

Abstract

During the past two decades, the accident due to dragging anchor has caused concern mostly to Pure Car Carriers (PCCs) because of her huge superstructure. Drastic measure is required if such danger is to be avoided. In order to reduce the danger of dragging anchor, the growth of the transverse and rotational velocity during the yawing motion of the vessel should be controlled.

The fluid resistance acting on the board attached perpendicularly to the bottom of the vessel along her keel line can be expected to control her yawing motion and thus reduce the force acting on her anchor. The effectiveness and the possibility of actualization of this "under keel vertical fin" was examined through model test and simulation.

Under the condition that the 16,000 GT type PCC is moored at anchor with 7 shackles of cable under the wind velocity of 20 m/s, when the rectangular board with 1.9 m depth is attached afore the midship, the force acting on the anchor can be reduced by 70 %. In case of 3.0 m depth, the force reduction is by 60% and in case of 4.8 m depth, it reaches to 50%.

It can be considered that the under keel vertical fin has the ability to achieve the safer anchoring under the heavy weather.

1. は じ め に

船舶が荒天時錨泊する場合、個々の船舶は走錨しないように有効な対策を適切に実行する。喫水を深くする、トリムをイーブンキールできればバイザヘッドにする、錨鎖を長く伸ばす、第2錨を使用する、バウスラスターを使用する、主機を適宜使用する、といったことがらはこれまでの研究を通じてその効果が明らかにされ、操船運用上の対策として馴染みが深い。しかしながら、普通の船に比べて極めて大きな水面上構造物を有する自動車専用船や喫水に比べて受風面積が大きい客船、カーフェリー等については、従来から提唱されてきた操船運用上の対策だけでは必ずしも十分とはいえない。ここ数年大きな台風の来襲がないにもかかわらず自動車専用船の走錨が頻発するのはこのことを示唆するものであり、この種の特殊な船型に対する抜本的な走錨対策を検討する必要が感じられる。

走錨防止の根本的対策のひとつは、振れ回り運動を抑制して錨に作用する力を緩和することである。とくに、振れ回り中の船体の横流れ運動と船首回頭運動を小さく押さえることは振れ回りの抑制に効果が大きい⁽¹⁾。このような観点から、ここでは、船体に何等かの抵抗力を付加することにより運動の発達を抑える方策について検討する。このための具体的な施策としては、船体船尾部にスパンカーを取り付ける、空中パラシュートや水中パラシュートを利用する、ケッジアンカーを使用する、船底下に抵抗板を取り付けるといったことなどが考えられる。これまでに模型実験やシミュレーション計算を通じてこれら諸施策の有効性について予備的検討を行ってきたが、

* 正会員 神戸商船大学 (〒658 神戸市東灘区深江南町5丁目1-1)

** 正会員 東海大学海洋学部 (〒424 静岡県清水市折戸3丁目20-1)

*** 正会員 日本郵船株式会社 (〒100 東京都千代田区丸の内2丁目3-2)

本論文ではこのうち船底下抵抗板の効果について報告する。

2. 抵抗板の効果を検討した錨泊船の運動シミュレーション

2.1 座標系および運動方程式

風の中で単錨泊する船の船体運動を図1に示す座標系を用いて表す。ここに、 $0-XY$ は錨位置を原点とする静止空間座標、 $G-xy$ は船体重心を原点とする船体固定座標である。風は Y 軸に沿って図の上方から下方に向かって吹くものとする。船体運動は平面運動に限定して取り扱い、次式に示す運動方程式を用いて表す。

$$(m+m_x)\dot{U}-(m+m_y)VR \\ =F_{xw}+F_{xc}+F_{xh}+(F_{xr}) \quad \cdots(1)$$

$$(m+m_y)\dot{V}+(m+m_x)UR \\ =F_{yw}+F_{yc}+F_{yh}+(F_{yr}) \quad \cdots(2)$$

$$(I_{zz}+J_{zz})\dot{R}=M_{Gw}+M_{Gc}+M_{Gh}+(M_{Gr}) \\ \cdots(3)$$

ただし、 m は船体質量、 m_x 、 m_y はそれぞれ x 軸、 y 軸方向の付加質量、 I_{zz} 、 J_{zz} は yawing に関する慣性モーメントおよび付加慣性モーメントを表している。また、式(1)、(2)、(3)中の U 、 V 、 R は重心を原点とする船体固定座標における船首尾方向、正横方向、回転方向の速度成分であり、 F_x 、 F_y はそれぞれ x 軸方向、 y 軸方向の外力を、 M_G は重心回りの外力モーメントを表している。

図1 座 標 系

ここで、右辺外力項には風圧力(添字 w の項)、錨鎖反力(添字 c の項)、船体に働く流体力(添字 h の項)を考慮するが、船底下に抵抗板を取り付けるときは添字 r の項を付加する。計算はすべて実船値を用い、時間刻みを1秒としてオイラー法による数値積分を行う。その他シミュレーション実施にあたって設けた基本的な仮定は以下のとおりである。

- ① 風向、風速は一定とする。風圧力係数は辻らの模型実験結果⁽²⁾を用いる。
- ② 錨鎖と海底との摩擦および錨鎖に働く流体力は無視し、錨鎖は常に同一鉛直面上にあるものとする。
- ③ 錨鎖反力は錨鎖の船体側取付点と錨位置との幾何学的関係を用いてカタナリー理論に基づいて計算する。
- ④ 本船はプロペラの回転および操舵は行わない。
- ⑤ 流体力に関する諸係数は低速時の船体運動に適合可能な小瀬らの数学モデル⁽³⁾を使用する。これによると錨泊時の振れ回り運動のように横流れや回頭運動が支配的な運動の様子を良い精度で近似することができる⁽⁴⁾。
- ⑥ シミュレーション開始時の船体初期位置は船体に働く外力と錨鎖反力が釣り合う点とし、初期位置においては風軸に対し船首方位角10度の初期偏角を与える。そして、計算を始めてから運動が整定するまで1,800秒間は空計算させる。

2.2 シミュレーションにおける抵抗板の考慮

2.2.1 抵抗板による運動制御の考え方

振れ回り運動中、錨には衝撃的な力と定常的な力が交互に作用する。このうち、衝撃的な力はそれが錨に作用するたびに錨を少しずつ滑らせることになり走錨の因をなす。走錨を防ぐためにはこの衝撃的な力を可能な限り小さく抑えることが肝要であるが、このような衝撃力の大きさは振れ回り運動の激しさに依存して増大する。そして、この振れ回り運動においては船体の横移動運動(V_x)と回頭運動(R)の2つの運動要素が支配的である⁽¹⁾。

したがって、錨泊船の振れ回り運動を抑制し、そして、錨に加わる衝撃力を緩和するためには振れ回り運動における横移動と回頭のそれぞれの運動速度を積極的に抑制することができる施策を講じることが望まれる。そこで、ここでは、実際的にかつその効果も大きいと期待される船底下に抵抗板を取り付ける考え方をとりあげる。

図2は、船底下に抵抗板を取り付けるときの効果の考え方を3種類の取付配置について説明している。

(I) のケースは船体中心線に沿って船長全体にわたって抵抗板を取り付ける場合で、このとき抵抗板は船体の横移動運動(V_x)の発達を抑制する効果を持つとみることができる。(II) のケースは船体中央から船首側に半船長にわたり抵抗板を取り付ける場合で、このときは船体の横移動運動(V_x)の抑制とともに振れ回りの両端での回頭運動(R)の発達を抑制する効果が期待される。(III) のケースは振れ回りの両端で船体が風上へ切り上がるにより錨鎖が一時的にたるむ現象を抑制する効果を期待したもので、船尾付近に船体中心線と直角方向に抵抗板を取り付ける場合である。

2.2.2 抵抗板に作用する力の取り扱い

船底下抵抗板には、ちょうど流れに対し角度をもって単独に置かれた板に流体抵抗力が作用するのと同じ力が作用すると考える。ただし、抵抗板に働く摩擦力は無視し、直圧力だけが作用するものと仮定する。なお、ここで扱う抵抗板の形状は矩形とする。そして、直圧力は抵抗板の面積中心に作用するものとし、抵抗板と船体との相互干渉は考えない。

いま、面積 A の矩形抵抗板に流速 V の流れが入射角 β にあたるとき、抵抗板に作用する直圧力 P_N は次式により計算する。

$$P_N = 1/2 \rho C_N A V^2 \sin \beta \quad \dots\dots(4)$$

ここに、 ρ は水の密度、 C_N は直圧力係数でこの値は2次元矩形板の係数1.98を使用する⁽⁵⁾。なお、抵抗板が縦長や横長というように形状が異なれば、流れの入射角が変わるときの直圧力の変化傾向は式(4)のように一律に正弦的に変化するとして律するのは一般的でない。しかし、錨泊船の振れ回り運動のように抵抗板への流れが常時直角に近い大きな角度で入射するような場合は、そのような入射角の範囲においては抵抗板の形状にかかわらず一律に正弦変化するとして扱っても大差はない⁽⁶⁾。

図2に示した3種類の抵抗板の取付配置においては式(4)で計算される作用力の効果は式(1),(2),(3)の運動方程式の右辺外力項には次のように反映される。図2の(I)のケースでは、いま、抵抗板の面積中心が船体重心と一致すると考えると、 $F_{xr}=0$, $F_{yr}=P_N$, $M_{Gr}=0$ となり、図2の(II)のケースでは、抵抗板の面積中心と船体重心との距離を e とすると、 $F_{xr}=0$, $F_{yr}=P_N$, $M_{Gr}=P_N \cdot e$ 、図2の(III)のケースでは、 $F_{xr}=P_N$, $F_{yr}=0$, $M_{Gr}=0$ となる。

表1 計算条件

2.2.3 シミュレーション計算例

5,000 GT 型一般貨物船と6,000 台積自動車専用船に抵抗板を取り付けたときの効果をシミュレーション計算により確認した結果を図3、図4に例示する。計算にあたっては風速は20 m/sの定常風とし、抵抗板は水線下船体側面積の10%の面積をもつ矩形板を想定してそれを船体中央から船首側に半船長にわたって取り付けるものとした。船体条件、係留条件、その他計算に際しての条件設定を表1に整理する。

図3(a)、図4(a)は抵抗板のない場合、図3(b)、図4(b)は抵抗板のある場合のシミュレー

図2 抵抗板の配置と作用力

計算対象船舶	5,000 GT 型一般貨物船	6,000 台積自動車専用船
長さ	115 m	210 m
幅	16.3 m	32.2 m
喫水	7.36 m	9.33 m
	(FULL LOADED, EVEN KEEL)	
排水量	10,071 ton	32,889 ton
水深喫水比	3.0	
錨鎖伸出長	7 節	11 節
錨鎖径	56 mm	76 mm
抵抗板の寸法	長さ50 m×深さ1.7 m	長さ100 m×深さ2 m
	(水線下船体側面積の10%)	
外力	風速 20 m/s	
正面風圧抵抗	2.86 ton	22.2 ton

図3 一般貨物船のシミュレーション結果

図4 自動車専用船のシミュレーション結果

実験風速は実船換算で 19.5m/s, 23.9m/s, 28.8m/s の3 ケースとした。船底下に取り付ける抵抗板はすべて長方形とし、厚さ 3mm のアクリル板を使用して作成した。船底下船体中心線に取り付けるためのテストピースを5種、船尾垂線部に船首尾線と直角方向に取り付けるためのテストピースを1種作成した。船底下抵抗板の寸法と取付配置を図5に示す。

3.1.2 実験結果

図6は、各テストピースの効果を振れ回り運動の抑制と錨に作用する衝撃力の緩和の面から整理したものである。横軸はテストピースの配置の型をAからFの記号で示し、縦軸は振れ回り運動および錨に加わる衝撃力の減衰率を示している。ここに、減衰率はテストピースを取り付けたときの振れ回り振幅および衝撃力の大きさをテストピースを取り付けないときの値で割り算して求めた。テストピースの配置の型A, B, Cは抵抗板の取付位置の効果をみるための実験グループであり、テストピースの配置の型B, D, Eは抵抗板の面積増加の効果をみ

シミュレーション結果を対比して示している。図には振れ回り中の船首、重心、船尾の軌跡をプロットし、30秒ごとの船体姿勢も合わせて示している。なお、図の中央上部の○印は錨位置を示し、ます目は一辺 0.5 Lpp に相当する。また、図の下部には錨に作用する力の変動を1,800秒間について示している。縦軸は錨に加わる力の大きさを正面風圧抵抗で基準化して示している。

3. 模型実験とシミュレーション計算の比較

3.1 船底下抵抗板の効果確認実験

3.3.1 実験要領

実験は神戸商船大学の天板付造風水槽（長さ10m、幅6m、実験時水深0.44m、水面上天板までの高さ0.6m）にて実施した。供試船は表1に示したと同じ5,000GT型三島型一般貨物船の1/50縮尺木製模型船（模型船長230cm、幅32cm、喫水14.7cm満載等喫水）を使用した。そして、この船は径56mmの錨鎖を備え、水深喫水比3.0の水域で錨鎖7節（1節は27.5m）を伸長して錨泊するものとした。なお、錨鎖はその単位重量をフルードの相似則に基づいて縮尺換算したものを使用した。

錨に加わる力はストレインゲージを通じてオシログラフに記録し、船体運動は水槽天井部に取り付けたVTRカメラにより連続録画した。

図5 テストピースの配置とその寸法

図6 模型実験結果

るための実験グループである。

錨に加わる衝撃力の値に多少ばらつきがみられるものの、全体としてみるといずれの風速にあってもほぼ減衰率は一定の値に収束するようである。そして、抵抗板の配置とその大きさを適正に選択することにより振れ回り運動の抑制と錨への作用力の緩和に相応の効果が期待できることがうかがえる。なお、振れ回りの両端で船体が風上に切り上がり錨鎖が一時的にたるむ現象を抑制することを期待したテストピースの配置の型Fについてはほとんどその効果が認められなかった。

3.2 シミュレーション計算との比較

5,000 G T 型一般貨物船についての模型実験結果と、それと同じ条件を与えて行ったシミュレーション計算との比較を図7, 図8, 図9に示す。

図7は、船体重心の振れ回り振幅を振れ回り半周期の時間で割り算して得られる振れ回りの平均速度に着目して、振れ回り運動の激しさを減衰効果を整理している。図8は、振れ回り中に船首尾線が風軸となす角（船首方位角, ϕ ）に注目し、抵抗板を取り付けることによって船体がどれほど風に立つようになるかを船首方位角の減衰率としてとりまとめている。そして、図9は、錨に加わる衝撃力の減衰効果を整理している。

図7(a), 図8(a), 図9(a)は、抵抗板の面積が一定で（実船換算値 200m²）抵抗板の取付配置が異なる場合の減衰の様子を示している。横軸は抵抗板の面積中心と船体重心間の距離を船長で基準化して表したモーメントレバーの値である。横軸数値0の場合は面積 200m² の抵抗板を船長全体にわたって取り付ける場合に相当し、横軸の数値が大きくなるほど同じ面積の抵抗板を船首に近い部分に集中して配置する状態に相当する。なお、図中のプロットは左側のグループからテストピースの配置の型がA, B, Cの各ケースに対応する。

図7(b), 図8(b), 図9(b)は、船体中央から船首側に半船長にわたり抵抗板を取り付ける場合で、モーメントレバーが一定で（実船換算値 25m）抵抗板の面積が異なる場合の減衰の様子を示している。横軸は抵抗板の面積を水線下船体側面積に対する比率で示している。なお、図中のプロットは左側のグループからテストピースの配置の型がB, D, Eの各ケースに相当する。

図7, 8, 9によると、前章に述べたような抵抗板の効果を簡略化して考えるシミュレーションの方法によっても船底下抵抗板の効果をかなりの程度説明できること

(a) 抵抗板の配置の差異による効果

(b) 抵抗板の面積増加の効果

図7 振れ回り平均速度の減衰効果（一般貨物船）

図8 船首方位角の減衰効果(一般貨物船)

図9 錨に加わる衝撃力の減衰効果(一般貨物船)

図10 錨に加わる衝撃力の緩和効果(自動車専用船)

がわかる。

ところで、いま、錨に加わる衝撃力の減衰の様子をとりまとめた図9に着目するとき、図9(b)においてテストピースの配置の型がBとEの場合を比較してわかるように抵抗板の面積を 200m^2 から 400m^2 に倍にして得られる衝撃力の減少は約6%の減衰率の減少である。一方、図9(a)にみられるように同じ 200m^2 の面積の抵抗板でも、それを船首部に配置すれば面積を倍増すると同等またはそれ以上の効果が期待される。したがって、抵抗板はむしろ小さなものでも船首部分に集中して配置するのが良いようである。

4. 船底下抵抗板の実効性の検討

船底下に装備する抵抗板は振れ回り運動を抑制して錨に作用する力を緩和するのに効果的であることが模型実験を通じて明らかになった。このような抵抗板を船底下に装備することは商船に関する常識の範囲を超えるかもしれない。しかしながら、自動車専用船のような特殊な船型の船に対しては従来からの操船運用上の対策だけではもはや荒天時錨泊に対処できないのが実状であることを思えば、あえて常識の範囲を超えてでも何らかの対策が模索されてしかるべきだともいえる。

ところで、ここに提案する方策においては船底下に板状の突起物が船体の一部として突き出るわけであるから、泊地の水深と錨泊中の船体動揺の関係を考慮に入れば抵抗板の深さは一定の制約を受けることになる。また、それとともに設計上の判断要素として、装備された抵抗板には振れ回り中にどれほどの水圧抵抗が作用するかも重要な問題である。

したがって、船底下抵抗板の実効性を検討するにあたっては、①所要の効果が期待できる抵抗板の面積、

②効果を高める抵抗板の配置, ③抵抗板の深さに関する制約, ④振れ回り運動中に抵抗板に作用する水圧抵抗力およびその根付け部分に加わる水圧抵抗モーメントの大きさ, の諸点について吟味する必要がある。

本章ではシミュレーション計算を基に, 自動車専用船に抵抗板を装備する場合を対象に以上の諸点からその実効性を検討する。検討にあたっては, 主要目を表1に示した6,000台積自動車専用船が水深喫水比3.0の水域に径76mmの錨鎖を11節(1節は27.5m)伸長して錨泊している状況を想定する。なお, 一連のシミュレーション計算においては風速は20m/sの定常風とした。

図10は, 自動車専用船に抵抗板を装備するとき, 抵抗板の面積増加に伴って錨に加わる衝撃力がどのように減衰するかを示したものである。図中の3本の曲線は抵抗板の取付配置がそれぞれ異なっている

$e=0$ の曲線は抵抗板の面積中心と船体重心とが一致する場合で, この場合は, ホースパイプの後方から船尾にかけて船長の80%(168m)にわたり前後対称に抵抗板を取り付ける状態を想定している。 $e=42$ mの曲線は抵抗板の面積中心が船体重心から船首側42mのところにある場合で, この場合は, ホースパイプの後方から船体中央までの船体前半部において, 船長の40%(84m)にわたり抵抗板が取り付けられる状態を想定している。 $e=70$ mの曲線は抵抗板の面積中心が船体重心から船首側70mのところにある場合で, この場合は, 抵抗板はホースパイプの後方から船長の約13%(28m)の長さのみにわたり船首部分に集中して取り付けられる状態を想定している。

なお, 抵抗板の取付位置をホースパイプより後方とした意味は, 錨鎖が抵抗板に絡まないよう配慮したもので, ここでは, ホースパイプ直下から10m後方に離れた位置から抵抗板を取り付けるものとした。

図10をみてわかるように, 同じ面積の抵抗板でもそれを船首部に配置するほど大きな減衰効果が得られ, また, 抵抗板の大きさについてはその面積が増えるほど錨に加わる衝撃力の減衰効果は大きくなる。しかし, それもある限度を超えると船体の振れ回り運動は過度に抑制されてその結果不規則な前後運動を伴うようになり, かえって緩和効果の減退を招く。これについては, バウスラスターを使用して錨に加わる衝撃力の緩和を図る場合にも, 過度に振れ回り運動を抑制しすぎると同様の現象が起きる⁽⁷⁾。図10にはこのような状態になるときの計算結果はプロットしていない。曲線が途中で切れているのはそのためである。

船底下に抵抗板を装備することによって衝撃力の緩和をはかるとき, 実用の観点からはできるだけ小さな面積で所要の効果が得られることが望ましい。文献⁽⁷⁾によればバウスラスターを使用して錨に作用する衝撃力の緩和を図るとき, ここに考慮の対象としている6,000台積自動車専用船が推力15トンのバウスラスターを備えているとすると, 風速20m/sの下では約30%の衝撃力の緩和効果が期待できる。

いま, 船底下に抵抗板を装備することによってそれと同等の効果を得ようとする, 船長のほぼ全体にわたっ

表2 抵抗板の効果

抵抗板の配置
減衰率 30%	抵抗板の所要面積	550m ²	160m ²	120m ²
	抵抗板の深さ	3.3m	1.9m	4.3m
	抵抗板に作用する水圧力	52ton	20ton	15.5ton
	根付部に作用するモーメント	85.5t-m	19t-m	33.3t-m
減衰率 40%	抵抗板の所要面積	920m ²	250m ²	190m ²
	抵抗板の深さ	5.5m	3.0m	6.8m
	抵抗板に作用する水圧力	68ton	26ton	20ton
	根付部に作用するモーメント	187t-m	39t-m	68t-m
減衰率 50%	抵抗板の所要面積	1860m ²	400m ²	290m ²
	抵抗板の深さ	11.1m	4.8m	10.4m
	抵抗板に作用する水圧力	85ton	32.5ton	24ton
	根付部に作用するモーメント	471.8t-m	78t-m	129.6t-m

て抵抗板を取り付ける場合は ($e=0$ の曲線参照) 550m^2 の面積の抵抗板が必要となる。一方, 抵抗板を船首側に配置するときはそれと同等の効果を得るのに必要な抵抗板の面積は小さくてすむ。船首側約 $1/2$ 船長にわたり抵抗板を取り付ける場合は ($e=42\text{m}$ の曲線参照) 160m^2 とその $1/3$ 以下の面積ですみ, さらに船首部分のみに抵抗板を集中させる場合は ($e=70\text{m}$ の曲線参照) 120m^2 にまで小さくすることができる。

表 2 は, 所要の効果を得るに必要な抵抗板の面積とその寸法 (長さ×深さ), 振れ回り中に抵抗板に作用する最大水圧力およびその根付け部分に作用する最大モーメントを, 30%の衝撃力緩和効果を期待する場合, 40%の場合, 50%の場合のそれぞれについて整理したものである。

抵抗板を船長のほぼ全体にわたって取り付ける場合は, 所要の効果を得るにはかなり大きな面積の抵抗板が必要となり, それに伴って抵抗板への作用力も大きくなる。船首部に抵抗板を集中配置する場合は抵抗板の面積は最小でよいが, 反面抵抗板の深さは最も深くなる。

一方, 抵抗板を船首側約 $1/2$ 船長にわたり取り付ける場合は船首部分のみに集中させる場合に比べてやや大きな抵抗板を必要とするものの, 抵抗板の深さは最も小さくてよく, また, 抵抗板の根付け部分への作用モーメントも最小となる。

以上のことより, 妥当な面積で大きな効果が得られしかもさほど船底下に突出しないのは船首側約 $1/2$ 船長にわたり抵抗板を配置させるときで, この方法がここでの検討のなかでは最も実効性に富むものといえる。

5. む す び

走錨防止に関する操船上の対策は根本的には錨に作用する力を緩和することである。そのためには振れ回り中の船体の横移動と船首回頭のそれぞれの運動速度を抑制することが重要となる。ここでは, 船底下に抵抗板を装備することによりこれらの運動の発達を抑えて錨に加わる衝撃力の緩和を図ることを試み, その有効性と実効性を模型実験とシミュレーションにより検討した。

その結果, (1)抵抗板はその取付配置に種々のバリエーションが考えられるが基本的には小さな面積でもそれを船首部に配置することにより大きな効果を期待することができる, (2)抵抗板は船底下に突出するのでその深さに制約を受ける, (3)抵抗板を船底部に取付装備するときの設計上の点からは根付け部に加わるモーメントは小さいほうが良い, といったこれらの諸点から見て船首前半部に約 $1/2$ 船長にわたり抵抗板を配置する場合は最も実効性に富むことがわかった。

いま, 6,000 台積自動車専用船の船首側約 $1/2$ 船長にわたり抵抗板を取り付けるとした場合, 長さ 84m × 深さ 1.9m の抵抗板を船底下に装備することによって風速 20m/s の下では何の対策も施さないときに比べ30%の錨への作用力緩和効果を期待できる。また, その深さを 3m とすると40%の緩和効果, 4.8m とすると50%の緩和効果が期待できる。

なお, 同じ自動車専用船が推力15トンのバウスラスターを使用するとき期待できる最大の効果はせいぜい30%とみられるが, 抵抗板はそれをはるかに超える大きな効果が期待できる。

参 考 文 献

- (1) 井上欣三: 単錨泊船の振れ回り運動中に生じる錨鎖張力の緩和に関する研究 (I) —錨鎖張力の大きさに影響を及ぼす要因の分析—, 日本航海学会論文集, 第65号, 1981年
- (2) 辻ほか: 船体に働く風圧力に関する模型実験, 船舶技術研究所報告, 第7巻, 第5号, 1970年
- (3) 小瀬ほか: 低速で航行する船の操縦運動モデルについて, 日本造船学会論文集, 第155号, 1984年
- (4) 白井英夫: 錨泊システムシミュレータの作成とその応用, 神戸商船大学修士論文, 1988年
- (5) 西山哲男: 流れ学, 日刊工業新聞社, 1973年
- (6) R. D. Blevins: Applied Fluid Dynamics Handbook, Van Nostrand Reinhold Company, 1984
- (7) 井上欣三: 単錨泊船の振れ回り運動中に生じる錨鎖張力の緩和に関する研究 (II) —バウスラスターを利用した錨鎖張力の緩和—, 日本航海学会論文集, 第66号, 1982年

質 疑 応 答

定兼廣行（神戸商船大学）：振れ回り抑制手段として水面下に着目された点大変興味深い方法と思います。前方（船首部）に抵抗板を設置して抑制効果が上がるとの結果を出されています。これは水面上の風圧中心と水面下の水圧中心との船長方向距離を長くとることにつながり、船体の風上側へのせりあがり時の姿勢角の増加を抑えた結果と思われます。今後、水面上の風圧中心を後方に下げる手段のご研究を期待いたします。

井上欣三：船尾船橋船やトリムバイザヘッドの状態では振れ回りが小さく抑えられることはよく知られており、これらのご指摘の効果によるものであります。今回の報告もその効果の積極的応用を実際面から検討したものでありますが、このほかにもスパンカーの効果や船尾パラシュートの効果など模型実験やシミュレーションを通じて検討はしています。ご指摘今後に生かしたいと思います。