



Title	小型漁船のブローチング現象に関する船体形状の影響について
Author(s)	木村, 暢夫; Kimura, Nobuo; 高橋, 生 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 41(3), 131-143
Issue Date	1990-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24057
Type	departmental bulletin paper
File Information	41(3)_P131-143.pdf



小型漁船のブローチング現象に関する船体形状の影響について

木村 暢夫*・高橋 生**・天下井 清*

**Effects of Ship Form on the Brauching-to Phenomenon
of Small Fishing Vessels**

NOBUO KIMURA*, SUSUMU TAKAHASHI**
and KIYOSHI AMAGAI*

Abstract

In order to identify the effect of vessel hull-shape on the brauching-to phenomena of small fishing vessels, captive model tests were conducted on the following wave conditions by using several ship models with different ship forms.

From investigations into the actual condition of fishing vessel on southern Hokkaido, ship models having three bow forms and six stern forms are considered. The standard bow form is represented by the 9.9 GT type of fishing vessels which are usually used in Funka-Bay, Hokkaido. One shape is relatively fine, and one is relatively full. Regarding stern form, three types have recess for the rudder and propeller and used a configuration that changed the volume of this portion but without changing its form. The other three model types changed both the slope and fineness of the vessel hull-shape.

In this paper, based on measurements of the wave exciting sway force and yaw moment, the authors discuss the relationship between ship hull-form and the development of yaw motions.

緒 論

小型船舶が追い波中を波速に近い船速で航走するとき、船体が波の下り斜面に位置し、波長が船長の2倍程度である等の条件が重なると、しばしばブローチング現象と呼ばれる急速な回頭運動が引き起こされる。回頭運動が発生すると船体傾斜も同時に増加し、船体が横波状態になるため荒天時には極めて短時間のうちに転覆する場合がある。この現象は、船舶の安全航行の上から注目されてきた現象であり、旧来船舶乗組員におそれられている現象である。近年、小型漁船においても高馬力のエンジンの搭載によって高速化が進み、ブローチング現象を起こし易いとされる波浪状態と遭遇する確率が高くなった。

従来よりブローチング現象の発生原因としては、(1) 舵効きの低下、(2) 波面上での針路安定性の劣化、(3) 波の粒子運動による回頭モーメントの発生などの3点が指摘されていた。

これらの諸原因の妥当性については、元良氏らを中心としてすでに実験的に検討が行われている¹⁻⁴⁾。その結果、上記原因はブローチング現象発生的重要原因因子ではあるが、直接的な原因では

* 北海道大学水産学部漁船運用学講座
(*Laboratory of Fishing Boat Seamanship, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

** 北海道厚岸水産高等学校
(*Hokkaido Akkeshi Senior High School of Fisheries*)

なく、船体が波浪より受ける回頭モーメントと横力が、ブローチング現象発生の第一義的原因であることが明らかになった。それと同時に、この現象をさらに解明するために、(1) 船型とブローチング現象との関連性、(2) トリムや船体の重心高さ等の船体条件とブローチング現象との関連性、(3) 横傾斜の発達及び横傾斜と回頭運動の関連性などの事項を検討する必要性がとえられた。

従って本論文においては、船型とブローチング現象との関連性について実験的に検討し、ブローチング現象における船型の影響について知見を得たので報告する。

水槽実験

漁船模型を用いた追い波中斜航試験は、北海道大学水産学部大型水理実験水槽において実施した。

供試模型船

実験に使用した模型船は、北海道沿岸で一般的に使用されている 9.9 GT 型刺網漁船を基準に、船首及び船尾形状を変化させた縮尺 1/20 の漁船模型である。基準とした 9.9 GT 型漁船の船体線図を図 1 に示す。北海道南部の漁港で実施した漁船の船型調査を基に、船体船首尾線方向における横断面位置 6 より前部の船首形状は、基準とした 9.9 GT 型漁船船型、それより相対的に太った船型、及び相対的に瘦せた船型の 3 種類を考えた。小型漁船には、プロペラや舵を収納するため船尾に凹部を有する船尾形状が数多く存在する。そのため船尾形状は船尾に凹部をもうけ、その大きさを変化させた船尾形状 3 種類と凹部は設けずにスケグを有する船尾形状 3 種類の合計 6 種類を考え、横断面位置 2 より後部を変化させた。船首尾の組合せ 18 種類のうち、実際の漁船との対応から 12 種類の組合せ船型について模型船を作成し、追い波状態で曳航実験を実施した。船首形状の線図を図 2(a)~(c) に、船尾形状の線図を図 3(a)~(d) に示す。また、模型船における船首形状と船尾形状の組合せを表 1 に示す。

各模型船は、実船において軽荷状態 (排水量 13.65 トン) に、漁獲物 5.94 トン、漁具等総重量 1.09 トンを積載した状態になるように調整した。各模型船における主要目及び実験時における諸状態を表 2 に示す。

試験状態

ブローチング現象は、船体がいわゆる波乗り状態となり波速とほぼ等しい速度で航走する時に発生することが経験的に知られている。拘束模型実験においても波速と船速の関係を、波に対す

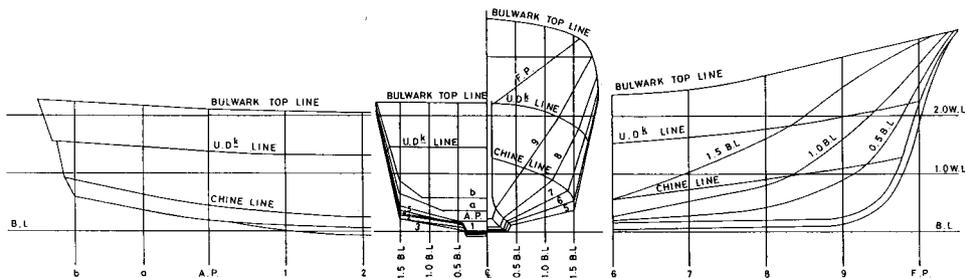


Fig. 1. Lines of 9.9 GT fishing vessel.

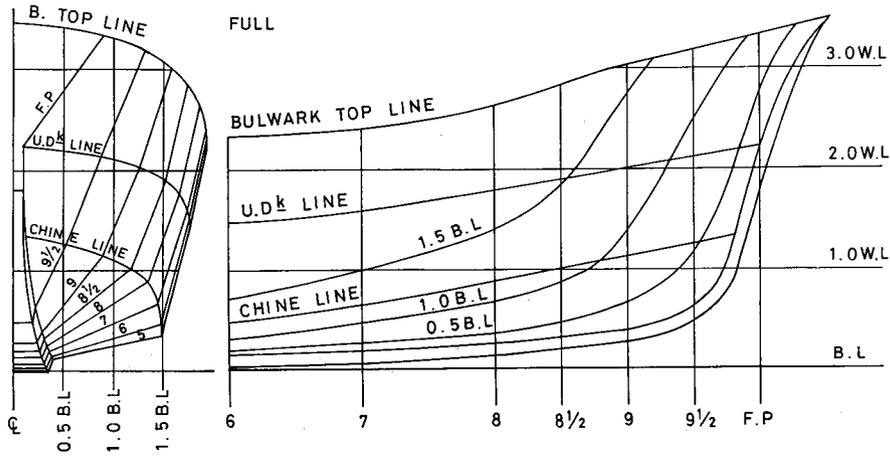
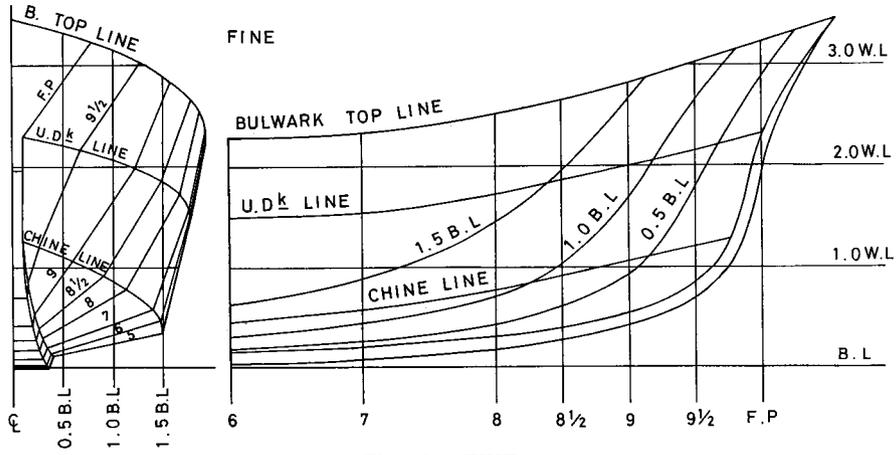
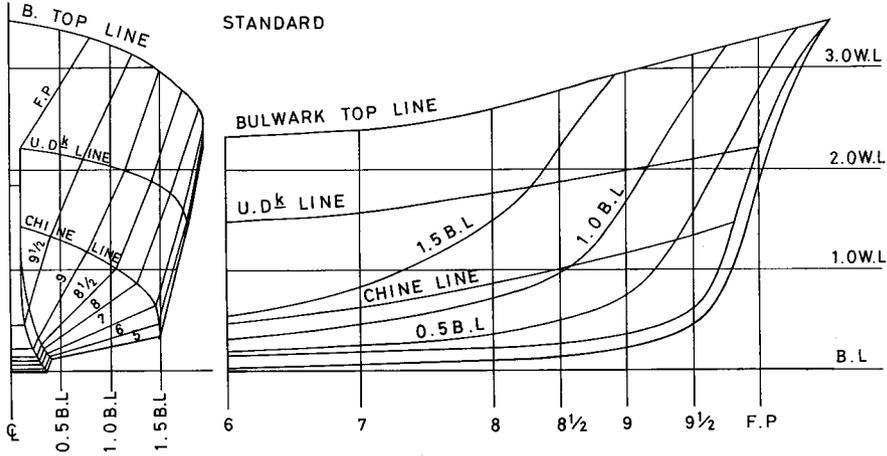


Fig. 2. Lines of bow form.

TYPE 1

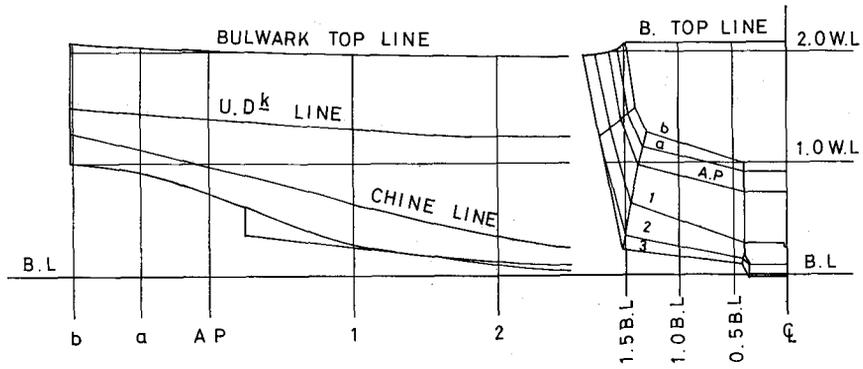


Fig. 3(a) TYPE 1.

TYPE 2

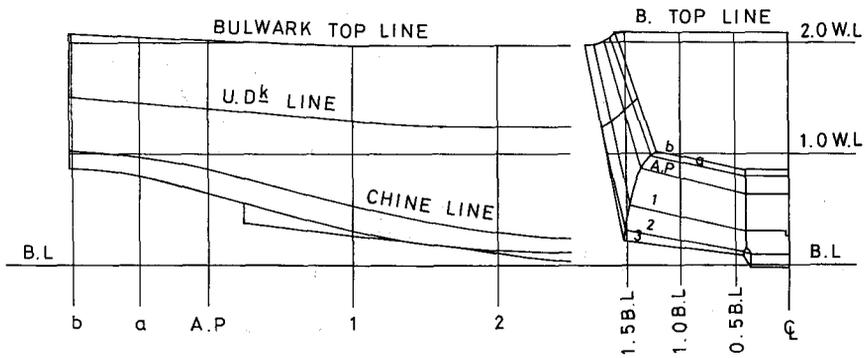


Fig. 3(b) TYPE 2.

TYPE 3

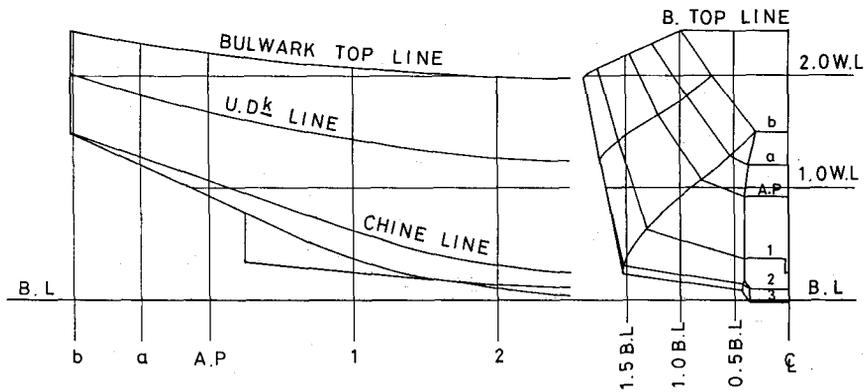


Fig. 3(c) TYPE 3.

TYPE 4

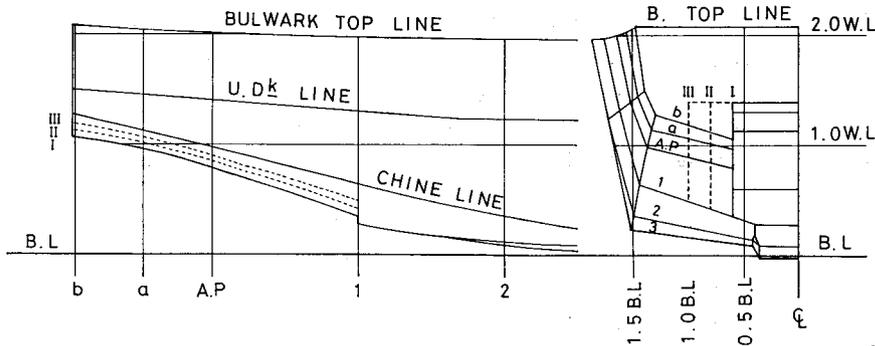


Fig. 3(d) TYPE 4-I~III.

Fig. 3. Lines of stern form.

Table 1. Combination of bow and stern form on model ship.

STERN FORM	BOW FORM		
	STANDARD	FINE	FULL
TYPE 1	○		○
TYPE 2	○		○
TYPE 3	○		○
TYPE 4-I	○	○	
TYPE 4-II	○	○	
TYPE 4-III	○	○	

TYPE 4; with opening space

る船体の出会い周波数 $\omega_e=0$ かほぼそれに近い状態に設定する必要があり、波に対する船体の相対位置を可能なかぎり同じ状態に維持することが望ましい。しかし、模型船を曳航する電車の速度及び実験水槽の長さの制約から、波高 0.06 m、波長 1.41 m 及び波速 1.50 m/sec の規則波を選定し、模型船が追い波にゆっくりと追い越されてゆく状態となるよう模型船の曳航速度を 1.29 m/sec とした。この状態において、船速・波速比 0.86、波高・波長比 0.04 及び波長・船長比 2.12 である。

模型船の運動はヒービング、ピッチング及びローリングは自由で、サージング、スウェイング及びヨーイングが拘束されている。模型船への曳航金具の取り付け位置は、漁船におけるエンジン位置と対応するように取り付けた。曳航金具は、35度までの範囲でローリングが自由で、それ以上は船体の横傾斜角を固定するように設計されている。

波に対する出会い角 α は 10 度、15 度、20 度及び 25 度の 4 種類を設定した。図 4 に、座標系を示す。

Table 2. Principal particulars and experimental conditions of model ships.

BOW	STANDARD					
STERN	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3	TYPE 4-I	TYPE 4-II	TYPE 4-III
Lpp	66.5 cm	66.5 cm	66.5 cm	66.5 cm	66.5 cm	66.5 cm
B	18.0 cm	18.0 cm	18.0 cm	18.0 cm	18.0 cm	18.0 cm
D	6.5 cm	6.5 cm	6.5 cm	6.5 cm	6.5 cm	6.5 cm
Disp.	2.53 kg	2.53 kg	2.53 kg	2.53 kg	2.53 kg	2.53 kg
Df	4.7 cm	4.4 cm	4.6 cm	4.4 cm	4.1 cm	4.0 cm
Da	3.8 cm	4.1 cm	4.1 cm	4.2 cm	4.5 cm	4.7 cm
Dm	4.3 cm	4.2 cm	4.3 cm	4.3 cm	4.3 cm	4.3 cm
Trim	-0.9 cm	-0.3 cm	-0.5 cm	-0.2 cm	0.4 cm	0.7 cm
Cb	0.560	0.559	0.541	0.538	0.531	0.527
GM	1.9 cm	1.9 cm	1.9 cm	1.9 cm	1.9 cm	1.9 cm
KG	7.6 cm	7.8 cm	7.4 cm	7.8 cm	7.7 cm	7.8 cm
OG	-2.9 cm	-3.5 cm	-2.7 cm	-2.6 cm	-2.7 cm	-3.5 cm
Lead	3.5 cm	4.3 cm	3.5 cm	3.5 cm	3.8 cm	4.7 cm
kyy/Lpp	0.308	0.313	0.312	0.313	0.313	0.310

BOW	FINE			FULL		
STERN	TYPE 4-I	TYPE 4-II	TYPE 4-III	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3
Lpp	66.5 cm	66.5 cm	66.5 cm	66.5 cm	66.5 cm	66.5 cm
B	18.0 cm	18.0 cm	18.0 cm	18.0 cm	18.0 cm	18.0 cm
D	6.5 cm	6.5 cm	6.5 cm	6.5 cm	6.5 cm	6.5 cm
Disp.	2.53 kg	2.53 kg	2.53 kg	2.53 kg	2.53 kg	2.53 kg
Df	4.5 cm	4.5 cm	4.0 cm	4.7 cm	4.5 cm	4.5 cm
Da	4.4 cm	4.3 cm	4.7 cm	4.0 cm	3.9 cm	4.2 cm
Dm	4.4 cm	4.4 cm	4.3 cm	4.3 cm	4.2 cm	4.3 cm
Trim	-0.1 cm	-0.2 cm	0.7 cm	-0.7 cm	-0.6 cm	-0.3 cm
Cb	0.525	0.524	0.515	0.554	0.564	0.538
GM	1.9 cm	1.9 cm	1.9 cm	1.9 cm	1.9 cm	1.9 cm
KG	7.8 cm	7.7 cm	7.8 cm	7.8 cm	7.8 cm	7.5 cm
OG	-3.9 cm	-3.8 cm	-3.3 cm	-2.4 cm	-2.9 cm	-2.0 cm
Lead	4.1 cm	4.0 cm	3.6 cm	3.0 cm	3.5 cm	2.7 cm
kyy/Lpp	0.317	0.309	0.314	0.316	0.307	0.311

実験結果

ブローチング現象は、波により発生する波浪回頭モーメントが舵力モーメントを越えた時発生する。また、追い波状態において船速と波速がほぼ等しいという条件は、波面に対する船体の相対位置が長時間にわたり同じ状態で持続することを意味する。これらのことより、船体が位置する波面上での相対位置と回頭モーメントの大きさがブローチング現象の発生にとって重要とな

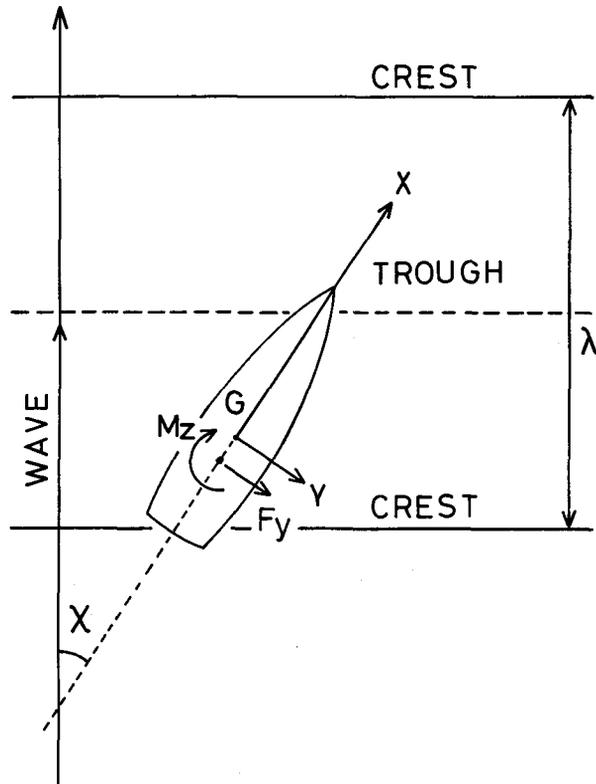


Fig. 4. Coordinate system.

る。波面上における船体の相対位置を図5に示す。船体前方の波の波頂位置から船体の重心位置までの水平位置を l とし、一波长 λ を8等分して l/λ の関係から相対位置を決定した。船体の波面に対する相対位置と船体に発生した回頭モーメント M_z の関係を図6(a)~(l)に示す。同様に、船体の波面に対する相対位置と船体に発生した横力 F_y の関係を図7(a)~(l)に示す。これらの M_z , F_y の値には、静水面で実施した斜航試験の実験値を減じて修正を行った。

すべての漁船模型を通して、 M_z の値は波の下り斜面で増大し、 $l/\lambda = 5/8 \sim 6/8$ の位置で最大値を示すことが図6より確認できる。 $l/\lambda = 6/8$ の位置は、船体の重心位置が波の下り斜面の中心に位置していることを意味し、この位置で波傾斜は最大となる。フルード・クリロフの仮定に従えば、波浪強制力は近似的には波傾斜に比例する関数であるので、この相対位置で M_z や F_y が大きな値を示したものと推定される。

出会い角 $\alpha = 25^\circ$ の状態において、いくつかの曳航実験中にローリングが大きくなり、模型船内への打込水や横傾斜角が固定されるなどの状態が発生した。そこで、出会い角 $\alpha = 20^\circ$ の状態で船体に発生した M_z の値をもとに船首形状の比較を行った。その結果、相対的にやせた (FINE) 漁船模型において発生した回頭モーメント M_z の値が、他の船首形状の値より大きく、また、船首形状の太った (FULL) 漁船模型における M_z の値が、最も小さい値を取ることがわかった。

船尾形状の回頭モーメントへの影響については、船首形状が STANDARD, FULL の両船型の場合、TYPE 3 型の船尾形状において発生した M_z の値が他の船尾形状のものより明らかに小さ

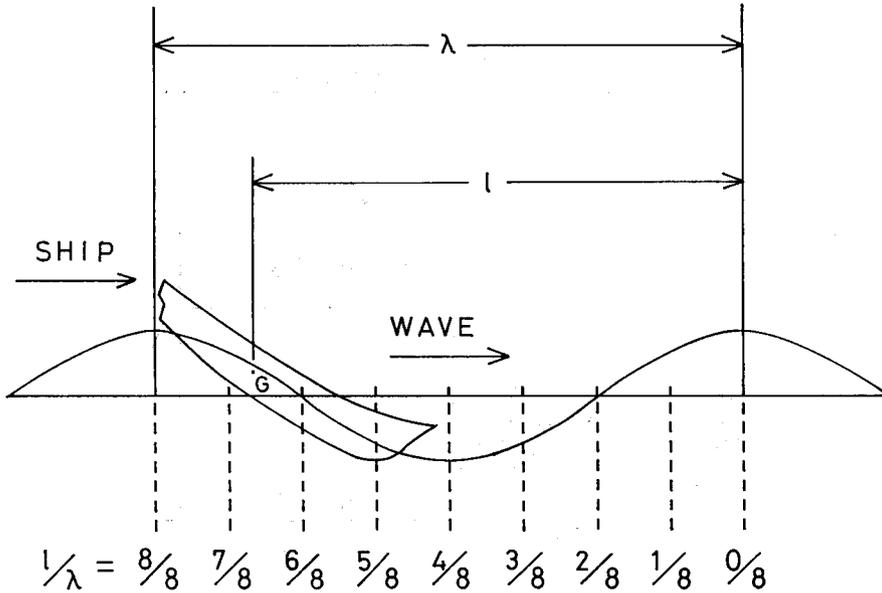


Fig. 5. Relative ship position on wave.

い。また、スケグを設置している船尾形状の方が、凹部を有する船尾形状に比べて M_z の値は小さい。

横力 F_y は、ほぼ波の上り斜面において正の値を取り、波の下り斜面において負の値を取ることが、図7より確認できる。ブローチング現象においては、波の下り斜面において、波浪により発生する横力が船を波の前方に押し出す際、船体重心と横力の圧力中心が異なることから回頭モーメントが発生すると考えられる。船体の回頭運動に大きな影響をもつ横力 F_y の波の下り斜面上でのピーク位置は、 $l/\lambda = 6/8 \sim 7/8$ で、回頭モーメントのピーク位置とは約 $l/\lambda = 1/8$ の位相差をもつ。横力 F_y の大きさに関しては、船体形状の違いによる影響は確認できない。

なお、実際に追波中を航行している船舶の速度ベクトルと斜航実験における模型船の速度ベクトルとの間に違いがある。実験においては、波の進行方向に対する模型船の相対速度を実際の船舶の航走状態と一致させてあるが、左右方向の速度が無い。そのために、船体に発生する横力の大きさにこの影響が含まれず、実際より小さく評価している。しかし、本実験で用いた出合い角 $\alpha = 20^\circ$ までの範囲においてこの影響は少なく、得られた結果は浜本ら⁹⁾の結果と良く一致していることから、定性的に満足できるものと判断した。

考 察

実験結果に基づき、船体形状が船体の回頭運動に及ぼす影響を下記に示す。

(1) 船首形状が船体に発生する回頭モーメントに大きな影響を及ぼすことが判明した。波浪による横力 F_y の大きさに違いがないにもかかわらず、発生した回頭モーメント M_z には大きな相違が発生していることから、船体の前後方向における重心位置と波浪により船体が受ける横力の圧力中心との間隔が大きく影響しているものと推測できる。9.9 GT 型漁船のように、ブリッジ前方の甲板下に魚倉をもつ船型は、漁獲物や漁具などの積載位置により船体状態が大きく変化する。

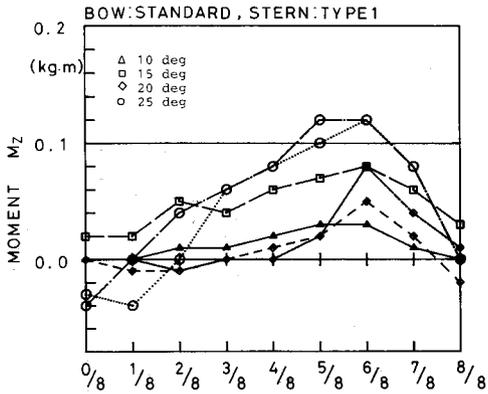


Fig. 6(a) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 1.

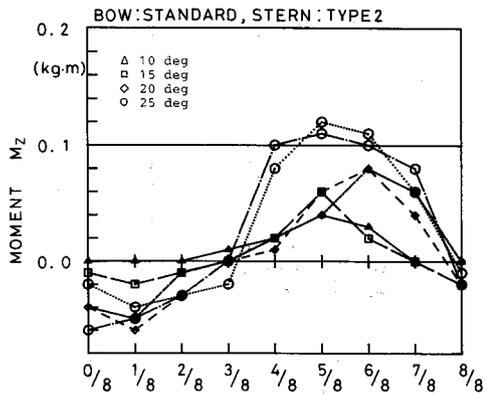


Fig. 6(b) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 2.

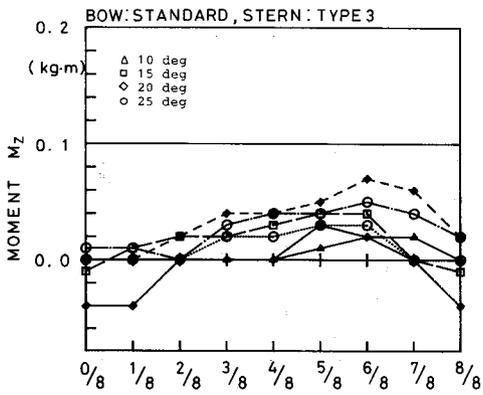


Fig. 6(c) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 3.

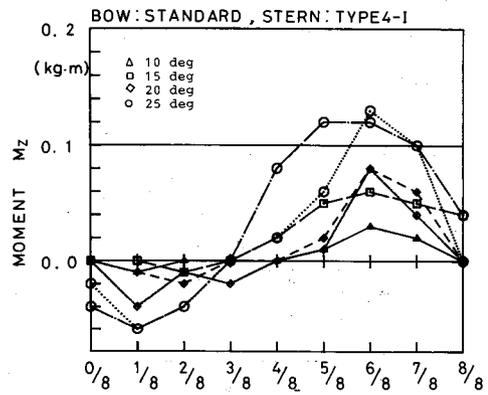


Fig. 6(d) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 4-I.

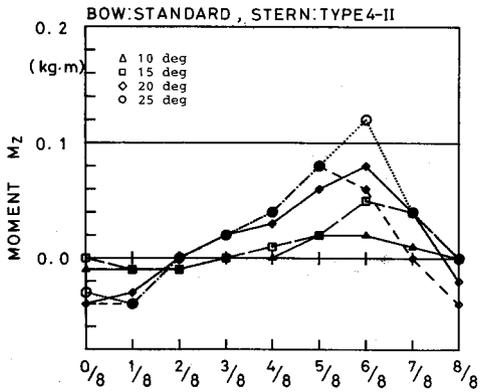


Fig. 6(e) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 4-II.

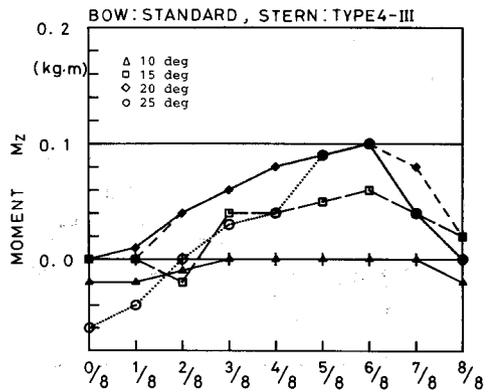


Fig. 6(f) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 4-III.

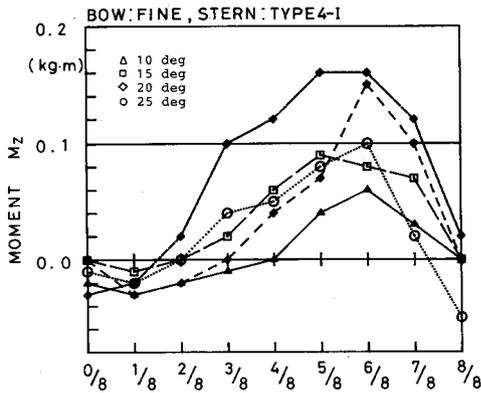


Fig. 6(g) bow; FINE, stern; TYPE 4-I.

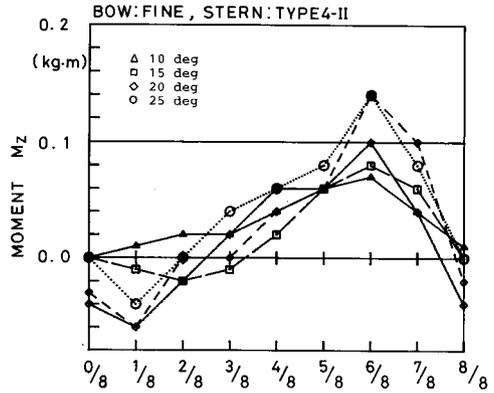


Fig. 6(h) bow; FINE, stern; TYPE 4-II.

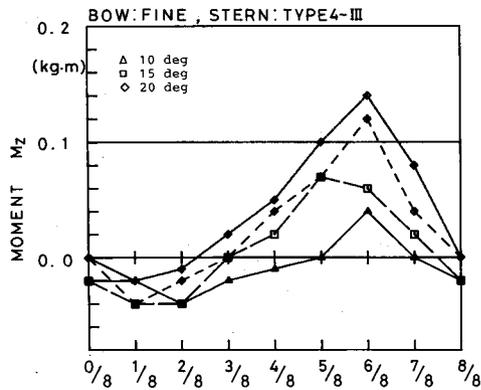


Fig. 6(i) bow; FINE, stern; TYPE 4-III.

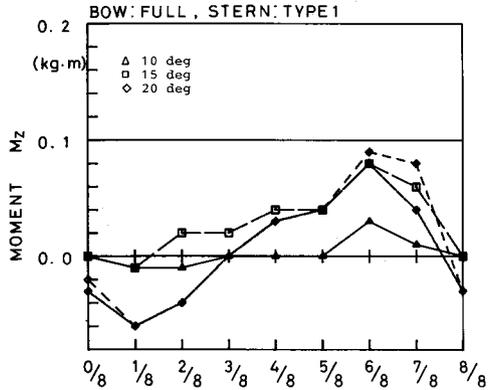


Fig. 6(j) bow; FULL, stern; TYPE 1.

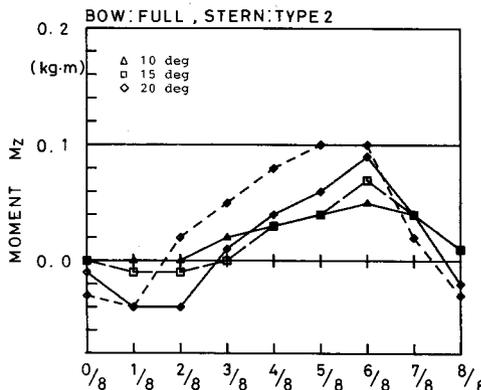


Fig. 6(k) bow; FULL, stern; TYPE 2.

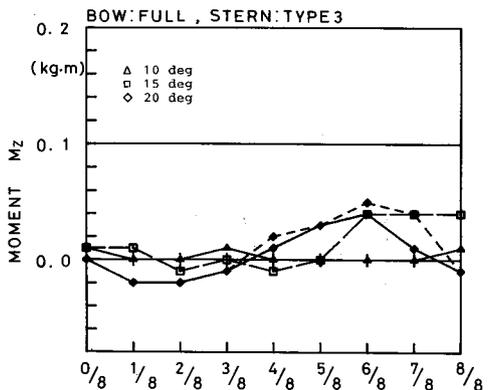


Fig. 6(l) bow; FULL, stern; TYPE 3.

Fig. 6. Yaw moment.

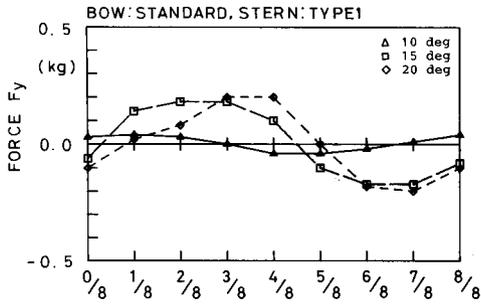


Fig. 7(a) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 1.

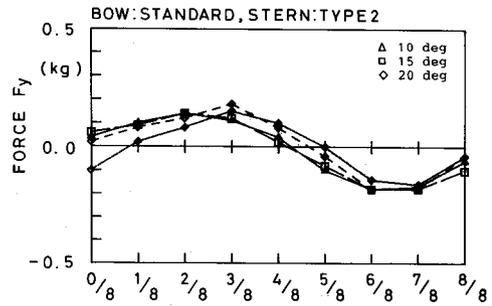


Fig. 7(b) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 2.

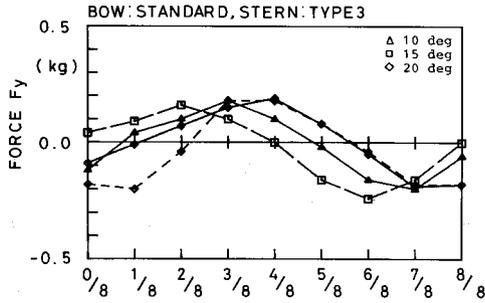


Fig. 7(c) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 3.

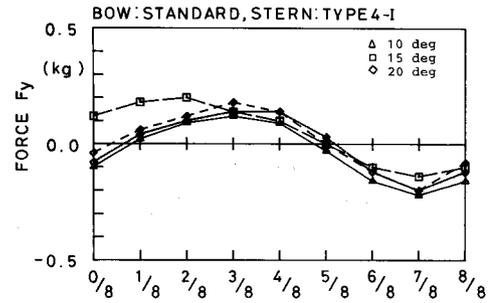


Fig. 7(d) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 4-I.

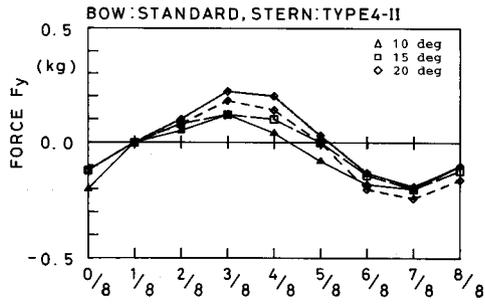


Fig. 7(e) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 4-II.

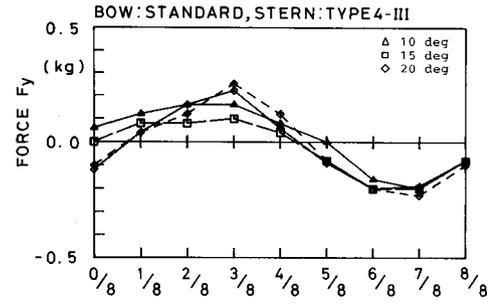


Fig. 7(f) bow ; STANDARD, stern ; TYPE 4-III.

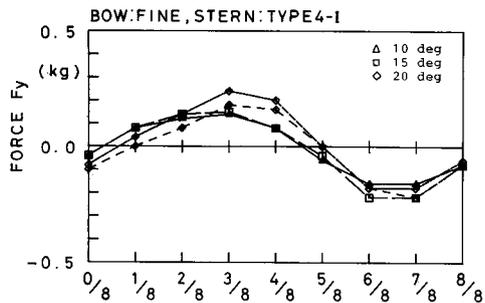


Fig. 7(g) bow ; FINE, stern ; TYPE 4-I.

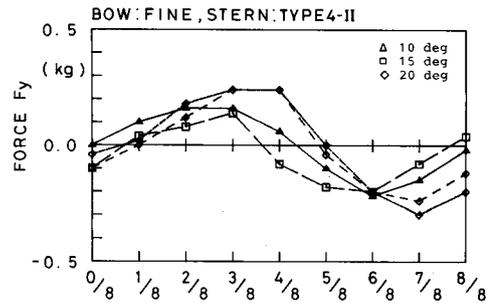


Fig. 7(h) bow ; FINE, stern ; TYPE 4-II.

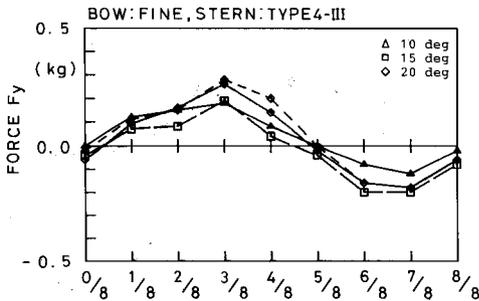


Fig. 7(i) bow; FINE, stern; TYPE 4-III.

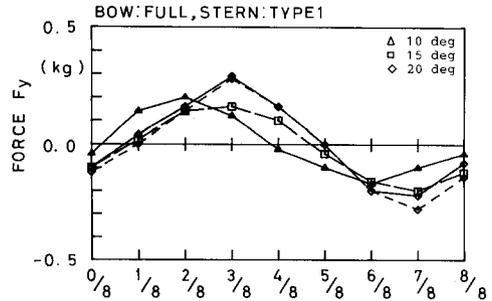


Fig. 7(j) bow; FULL, stern; TYPE 1.

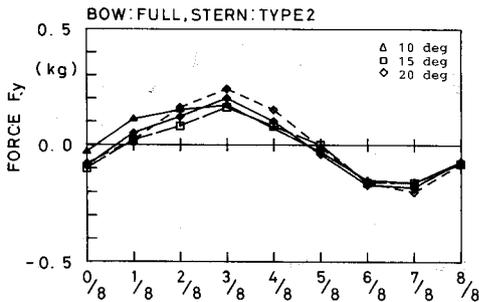


Fig. 7(k) bow; FULL, stern; TYPE 2.

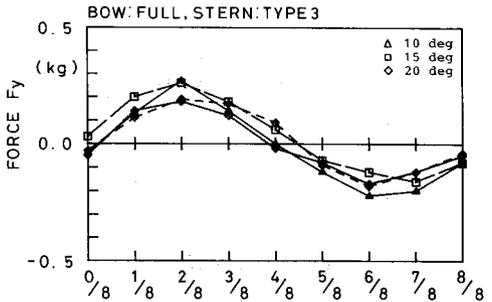


Fig. 7(l) bow; FULL, stern; TYPE 3.

Fig. 7. Wave exciting sway force.

漁船は、機関などの重量物が船尾側に設置されているので、船首に比べて船尾の喫水が大きくなり、船首尾線方向における船体の重心位置も中央より船尾側にあるのが一般的である。さらに、船首形状の相違により、漁獲物を積載した時の重心位置に違いが発生している。表2の重心の前後位置 $\bar{x}G$ からも確認することができるように、漁獲物を積載した状態での船体の重心位置は、船首形状が FINE 型の船型で最も船尾よりに位置し、FULL 型の船型において一番船首よりに位置している。横力の圧力中心位置は、 Mz と Fy の関係より推定することができ、船体の重心位置が船尾よりに位置するほど、横力の圧力中心との間隔も大きくなる。従って、船首形状が瘦せた船型ほど、大きな回頭モーメントが発生しやすく、ブローチング現象が発生しやすい船型といえる。

(2) TYPE 3 型の船型は、他の船尾形状のものと比較して船尾が細くなっており、船尾位置での積載が制限される。その結果、船体重心の位置が船体中央よりに位置している。船尾形状の回頭モーメントへの影響については、船首形状と同様に考えることができる。従って、漁獲物積載時に重心位置が船尾方向に位置していない船型ほど発生する回頭モーメントの値が小さかったと推定される。

(3) スケグの影響については、船尾形状の違いからは判断することができなかった。一般に、スケグは大きいほど船の保針性を高めるが、必要以上に大きくすることは、波浪による横力を船尾側でより大きく受けることにつながると推測される。その結果、波の下り斜面において回頭モーメントを増大させ、ブローチング現象を起こしやすくと予想される。

(4) 保針性の悪い船体は、追波状態で航行中ヨーイングを引き起こし、ブローチング現象が発

生しやすいとされている出会い角 $\alpha = 20^\circ \sim 30^\circ$ の斜め追波状態におちいる危険性が高い。そのため、針路安定性の問題はブローチング現象の発生を考える上で重要である。船首尾線方向における船体の重心と水線下の側面積中心間の距離はリードと呼ばれ、保針性を評価する際用いられ、小さい方が針路安定性が良い。表 2 より静水中の各模型船のリードは、船首が FINE 型の船型で大きく、FULL 型の船型で小さな値となっている。従って、針路安定性の面からも FINE 型の船型が回頭運動を引き起こし易いことが推測できる。一般に船舶は前トリム状態でリードが増大し、FINE 型の船型は船首位置に漁獲物を積載した場合他の船型に比べて船首が沈みやすいことから保針性が悪くなりやすい。

以上、ブローチング現象において発生する回頭運動には、船体の船首尾線方向における重心位置が要因となっており、船体形状は漁獲物を積載した時の漁船の重心位置や波浪による横力の圧力中心位置に大きな影響をあたえている。実際の漁船の運用においては、前後トリムが大きくなるような漁獲物や漁具の積載位置に注意を払うことが、船体に発生する回頭モーメントの軽減に有効である。また、ブローチング現象に遭遇した際、横傾斜に対して十分な復原力を確保するうえからも魚倉内への漁獲物の収納と放水口の確保に留意しておく必要がある。

本研究は昭和 64 年から 2 年間にわたる卒業研究の一環として実施された。この間関係された田中 隆、佐藤 奏の両氏に深謝する。

文 献

- 1) 元良 誠三 他 (1981): ブローチング現象発生機構に関する考察, 日本造船学会論文集, **150**, 211-222.
- 2) 不破 健 他 (1981): 小型船のブローチングに関する実験的研究, 日本造船学会論文集, **150**, 223-231.
- 3) Motora, S., Fujino, M. and Fuwa, T. (1982): On the Mechanism of Broaching-to phenomena, STABILITY '82, Second International Conference of Stability of Ships and Ocean Vehicles, 535-550.
- 4) 浜本剛実・藤野正隆 (1986): 船舶の縦波中の転覆, 日本造船学会運動性能研究委員会第 3 回シンポジウム, 125-157.