

## ぜん動波発生装置付き模型双胴船に関する基礎実験—I

中山 博\*

### Basic Tests of a Twin Hull Ship Model with a Peristaltic Wave Generator — I

Hiroshi NAKAYAMA

#### Abstract

The peristaltic motion of ships has a pumping action to shift the fluid in the watercourse in the traveling direction of waves. With a view to utilizing the pumping action for engineering purposes (Reynolds number : order of  $10^3$ ), the author performed measurement of induced flow velocity, hull resistance test, and quasi-self propulsion test by use of a twin hull ship model equipped with a peristaltic wave generator on the inner wall, and obtained the following information :

In the case amplitude (  $\epsilon$  ) was 0.5cm, the mean induced flow velocity was highest when amplitude ratio (  $\alpha$  ) was 6 and travelling wave velocity (  $c$  ) was 60cm/sec, being 14.1cm/sec.

It is presumed from the hull resistance test results that the total resistance of the hulls was 4.26gr and effective horsepower (E. H. P) was  $43.9 \times 10^{-7}$  P. S. when  $\alpha$  was 6,  $c$  was 70cm/sec, and ship velocity was 7.73cm/sec.

The quasi-self propulsion test results show that induced flow velocity and ship velocity increased with an increase in  $c$  regardless of  $\alpha$ , suggesting that  $\alpha$  has little effect on the both velocities. Ship velocity was highest when  $\alpha$  was 11 and  $c$  was 60cm/sec, being 8.23cm/sec.

ぜん動運動には流路内の流体を波の進行方向に移動させるポンプ作用があり<sup>1)</sup>, 開水路の場合も閉塞管内側壁のぜん動運動と同様, ポンプ作用が認められている<sup>2)</sup>.

双胴船の場合, 水の流れに接する船体表面積は, 単胴船に比べてはるかに大きい. 従って, 摩擦抵抗, 渦抵抗が大きくなる. 又, 吃水が深くなると強度上, 2隻の船体を平行に結合する構造部材も大きくなって造波抵抗が増加する<sup>3)</sup>.

そこで本実験では, この抵抗を減少させるポンプ作用の利用を考え, その基礎実験として, 模型双胴船の内側壁に, ぜん動波発生装置を取り付け, 誘起流速の測定, 船体抵抗試験並びに準自航試験を実施, 双胴船へ応用した場合の推力効果を調べた.

\* 鹿児島大学水産学部漁船運用学研究室

(Laboratory of Fishing Vessel Seamanship, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan)

実験装置及び方法

実験装置を Fig. 1 に示す. 箱型水槽 (長さ178cm, 幅88cm, 深さ40cm) の中央に, ぜん動波発生装置付き模型双胴船を浮かし, ぜん動部の位相が, ずれないように, ぜん動装置の2つの駆動軸に, タイミングプーリを取り付け, タイミングベルトで連結し, それぞれを可変速電動機で回転させ, ぜん動波を発生させた (Fig. 2 参照). 平均流路幅  $H$  は, このタイミングベルトの長さを変える事により, 任意の値に調整できる.  $H$  は左右2個の, ぜん動波振幅  $\varepsilon$  の基準線間の水平距離である. ここで振幅比  $\alpha = H / 2\varepsilon$  をとる. ぜん動波発生機構は,

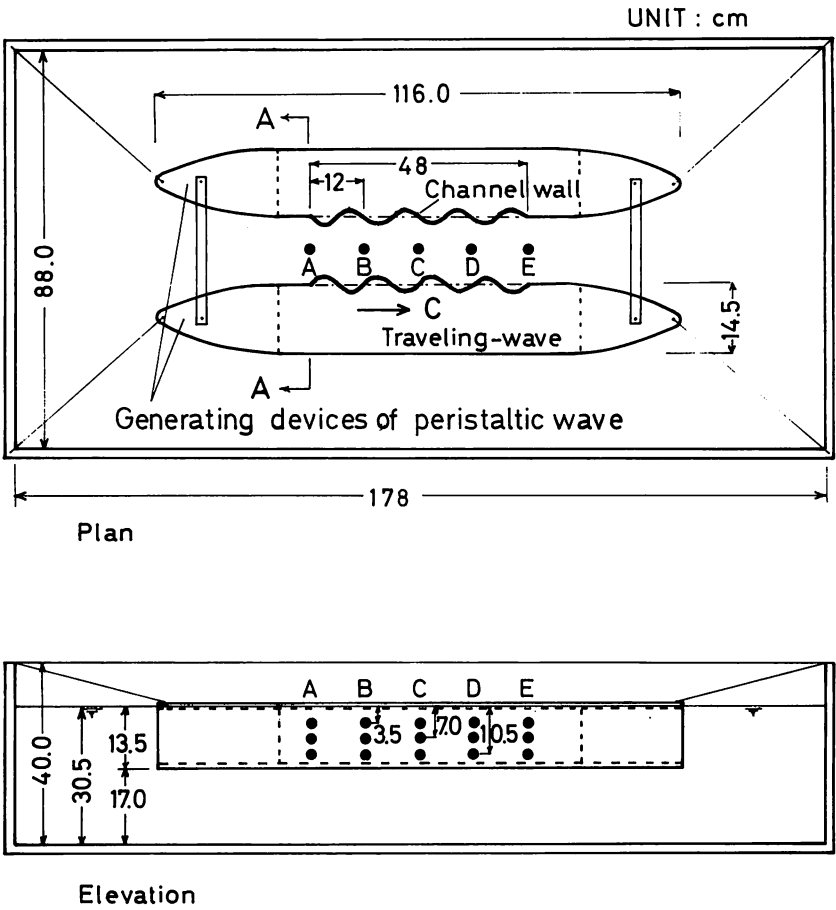


Fig. 1. Experimental apparatus and measuring points.

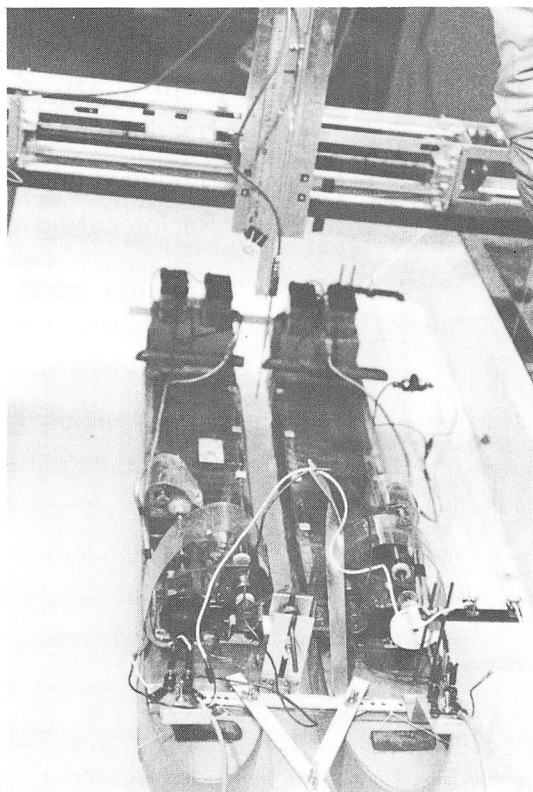


Fig. 2. Generating devices of peristaltic wave.

減速歯車（3段， $11/252$ ）を介して，電動機により，駆動されるカム軸に円形の偏心カム25個が1波長（12cm）当り，6個の割合で位相角60度，間隔2cmで取り付けられている．カム軸の回転運動は，カムを包むニードルベアリングにより，往復運動に変えられる．その結果，之に連結する塩化ビニール板の外側端は振幅（ $\varepsilon$ ）0.5cm，波長（ $\lambda$ ）12cmの正弦波4個から成る進行波変位が形成される（Fig. 3参照）．

ここで進行波速度  $c$  は  $20 \sim 90 \text{ cm/sec}$  の間で任意の値をとる事ができる．ぜん動部長さは，48cm，高さ12cmで，上記，塩化ビニール板の外側端に膚接して，厚さ3mmのウェットスーツ用のゴム膜が張られている．このぜん動部発生装置は，長さ116cm，幅14.5cm，厚さ1.0cmの長楕円形ベニヤ板の上に取り付けられ，上蓋にも同じく長さ116cm，幅14.5cm，厚さ0.5cmの透明な長楕円形プラスチック板が取り付けられている．又，船首，船尾部分は浮力をつけるために，硬質ウレタン（フォームライトボードFR-60）が使用されている．

上記の装置を使用して①誘起流速（ $v$ ）の測定並びに，流れの可視化，②船体抵抗試験，③準自航試験を行った．

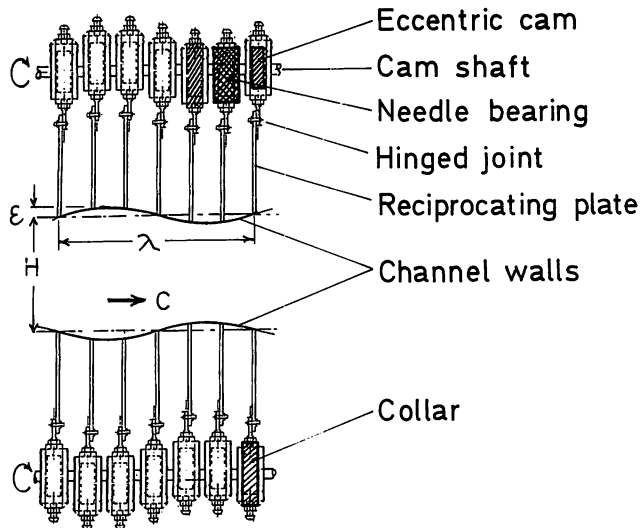


Fig. 3. Peristaltic wave generating mechanism.

$v$ については、 $H$ をそれぞれ6, 7, 9, 11cmに変えて、 $c$ を20~90cm/sec (20~55cm/secは5cm/sec置き, 60~90cm/secは10cm/sec置き)として、測定した。測定点は、ぜん動波発生部の入口より、水平流路中心線に沿って、12cm(1波長間隔)ごとに、A, B, C, D, Eの5点を取り、且つ、それぞれの点において、水面下方3.5, 7.0, 10.5cmの3点を選び、計15点とした。水槽水深は30.5cmである。

$v$ の測定には  $v$ -303型流速計(プロペラ径: 20 mm $\phi$ , アルミ製, 4枚羽根, 検出方法: 磁石-ホール IC 方式, 測定範囲: 3~100cm/sec; 流速計カウンタ: 自動連続計測, 4桁, パルス数/秒, デジタル表示)を使用した。

次に同じく、 $v$ について、 $H$ をそれぞれ、6, 7, 9, 11cmに変えて、 $c$ を60cm/secとして測定した。測定点は、ぜん動波発生部の入口より、12cmごとに A, B, C, D, Eの5断面を取り、且つ、それぞれの断面において、流路幅の方向に、ぜん動波の側壁より、1cm間隔で、測定点  $a, b, c$ ……をとり、水深方向は水面より11cmまでの深さを0.5cm間隔にとった (Fig. 4 参照)。この  $v$ の測定には、SV-3W型超小型正逆流速計(プロペラ径: 3 mm $\phi$ , ステンレス製, 8枚羽根, 検出方法: 赤外線回転検出, 測定範囲: 2.5~100cm/sec)を使用した。

水路の流れの状態を調べるために、タフト法と色素流脈法による流れの可視化<sup>4)</sup>を本学回流水槽で行った。撮影は鏡を45度に傾斜させて、模型船の船底下方の水底に沈め、その鏡に反射されて写る流れの状態を側面の観測窓から、ビデオカメラに収めた。タフトは、長さ4cm, 直径0.3mmの綿糸を用い、色素にはローダミン B (赤色)を水で溶かして、トレーサとした。

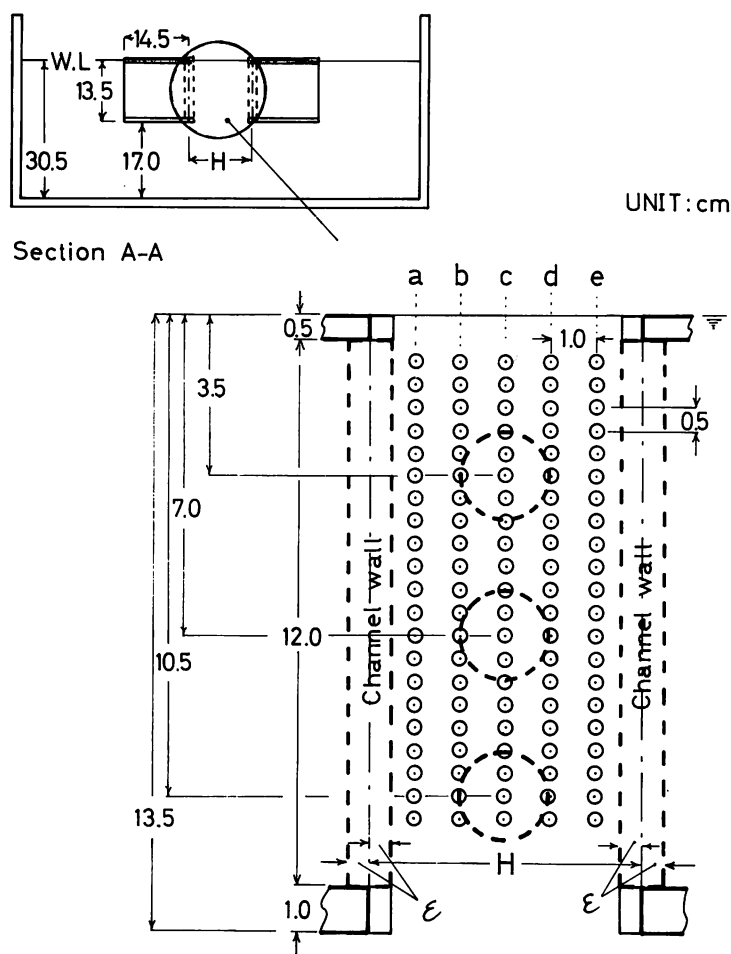


Fig. 4. Experimental apparatus and measuring points.

船体抵抗試験は H を 6 cm で、ぜん動波停止と作動 ( $c: 55, 60, 70 \text{ cm/sec}$ ) 状態の各々について、流速  $10 \sim 40$  ( $10, 20, 30, 40$ )  $\text{cm/sec}$  を与えて、模型船の抵抗 ( $R_T$ ) を測定した。

実験はFig. 5 に示す如く、本学回流水槽に装備されている抵抗検力計を使用、本装置に船首、船尾の支持金具と曳引桿をそれぞれ取り付け、所定の流速を与え、更に、所定の  $c$  で作動させた状態で、模型船の抵抗を検力計に作用させ、これと連動している記録円筒紙上に画かせた。尚、抵抗試験の時は、デッキ上に打ち上げる水流による船体抵抗への影響を考慮して、船体上部にブルワークを取り付けた。

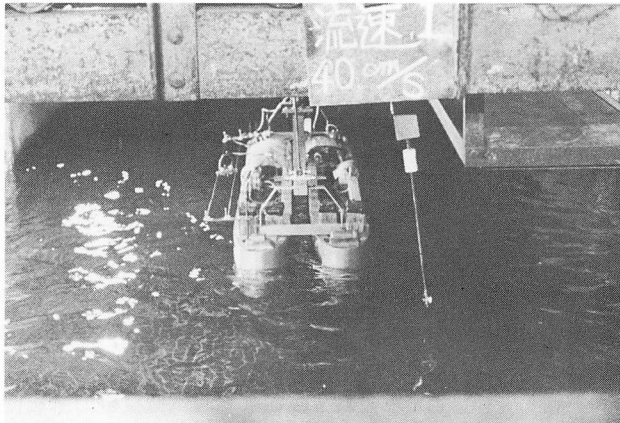
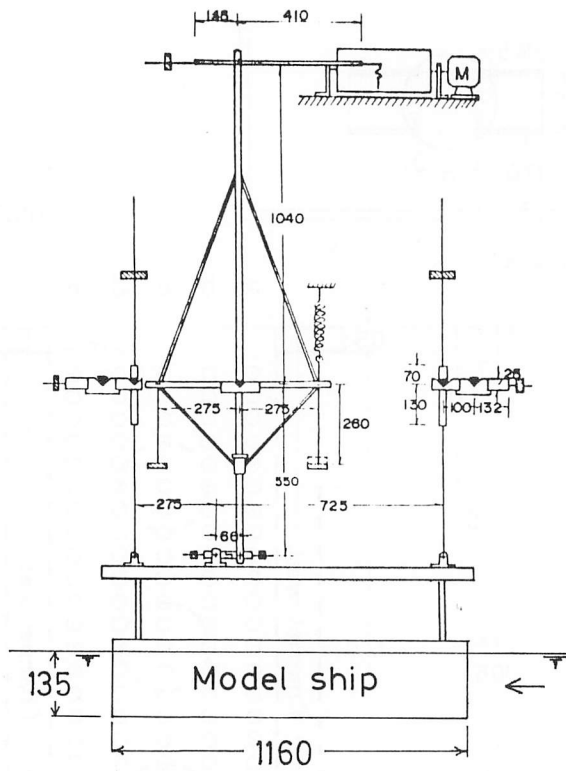


Fig. 5. Ggber-typed resistance dynamometer and twinhull model.

準自航試験は、舵、プロペラなしで、 $H$  をそれぞれ 6, 7, 9, 11cm に変えて、 $c$  40, 50, 60, 70cm/sec として、ぜん動波発生装置のみで自航させた。速度の測定は、先づ、模型船を静止させ、所定の  $c$  に合わせて、ぜん動波を発生させ、直線コース、0～200cm の試走距離と経過時間を連続的に記録させた。

記録装置は、ポテンシオメーター、直流増幅器、ペンレコーダの 3 つを組合わせたものである。

### 実験結果及び考察

誘起流速の測定結果を Table 1 (a), (b) に示す。ぜん動運動による流れの発生自体を即、

Table 1 (a). The mean flow-velocity induced by peristaltic motion of the inside walls.

Reynolds number Re ( $=C\varepsilon/\nu$ )	Traveling wave velocity C (cm/sec)	Amplitude ratio $\alpha$ ( $=H/2\varepsilon$ )	Measuring points				
			A	B	C	D	E
			Mean induced flow-velocity $\bar{V}$ (cm/sec)				
$0.87 \times 10^{-3}$	20	6	—	—	—	—	4.4
		7	—	—	—	—	—
		9	—	—	—	—	—
		11	—	—	—	—	—
$1.09 \times 10^{-3}$	25	6	—	—	—	—	5.8
		7	—	—	—	—	—
		9	—	—	—	—	—
		11	—	—	—	—	—
$1.30 \times 10^{-3}$	30	6	—	—	—	—	—
		7	5.6	—	4.5	—	—
		9	—	—	—	—	—
		11	—	—	—	—	—
$1.52 \times 10^{-3}$	35	6	—	—	—	—	5.8
		7	—	—	—	5.6	7.3
		9	—	—	—	—	—
		11	—	—	—	—	—
$1.74 \times 10^{-3}$	40	6	—	—	5.1	—	7.8
		7	—	—	—	—	8.5
		9	—	—	—	—	—
		11	—	—	—	—	—
$1.96 \times 10^{-3}$	45	6	—	—	7.7	7.6	8.9
		7	—	—	6.1	8.6	10.3
		9	—	—	—	—	—
		11	—	—	—	6.8	—

Table 1 (b). The mean flow-velocity induced by peristaltic motion of the inside walls.

Reynolds number Re (=Cε/ν)	Traveling wave velocity C (cm/sec)	Amplitude ratio α (=H/2ε)	Measuring point				
			A	B	C	D	E
			Mean induced flow-velocity $\bar{V}$ (cm/sec)				
2.18×10 <sup>-3</sup>	50	6	4.7	5.0	5.6	7.8	10.8
		7	—	—	8.5	9.0	10.6
		9	—	—	—	—	—
		11	—	—	—	—	—
2.39×10 <sup>-3</sup>	55	6	—	6.0	5.6	7.0	7.5
		7	—	5.1	7.4	9.4	11.5
		9	—	—	—	—	12.7
		11	—	—	—	—	—
2.61×10 <sup>-3</sup>	60	6	7.3	7.1	8.7	10.5	14.1
		7	6.7	6.5	7.5	11.3	12.8
		9	4.7	5.1	8.5	10.2	12.7
		11	5.3	4.5	7.1	10.2	13.2
3.05×10 <sup>-3</sup>	70	6	8.0	8.8	9.9	10.8	13.5
		7	7.1	7.5	9.3	11.3	12.7
		9	5.8	5.4	6.5	9.2	11.3
		11	5.4	5.4	7.2	10.5	11.1
3.49×10 <sup>-3</sup>	80	6	7.7	9.5	9.9	10.2	12.2
		7	8.2	7.9	11.0	10.2	12.7
		9	6.0	6.0	7.0	8.2	9.9
		11	8.0	6.3	7.6	8.3	10.5
3.92×10 <sup>-3</sup>	90	6	8.9	9.2	9.6	9.3	11.9
		7	8.3	8.4	12.0	9.9	12.6
		9	8.1	6.4	7.9	11.0	10.1
		11	6.9	7.7	8.3	8.9	9.1

ポンプ作用と考えると、 $v$ の値を測定した。何れの測定点においても  $c$  20~55cm/sec の範囲では  $\alpha$  が大きくなる程、中層、底層部の  $v$  の値は 3 cm/sec 以下で使用流速計では測定不可能な点が多い。  $c$  60~90cm/sec の範囲では、何れの  $\alpha$  においても、流入部 A 点の中央では、 $c$  の増加に伴い、 $v$  も増加する傾向にあり、流出部 E 点では  $c$  60cm/sec で最大14.1cm/sec となり、それ以上、 $c$  を増加させても  $v$  の増加とはならない (Table 1(a), (b)参照)。測定点 A, B, C では、何れの  $\alpha$  においても  $c$  の増加に伴って、 $v$  も増加する傾向にある。D 点では、 $c$  60~70cm/sec と  $c$  の増加に伴った  $v$  の値となるが、 $c$  : 80~90cm/sec で  $v$  の値は減少する (Fig. 6 参照)。E 点では、何れの  $\alpha$  においても、 $c$  : 60cm/sec までは、 $c$  の増加に伴った  $v$  の値となり、 $c$  60cm/sec を越えると  $v$  の値は減少する (Fig. 7 参照)。



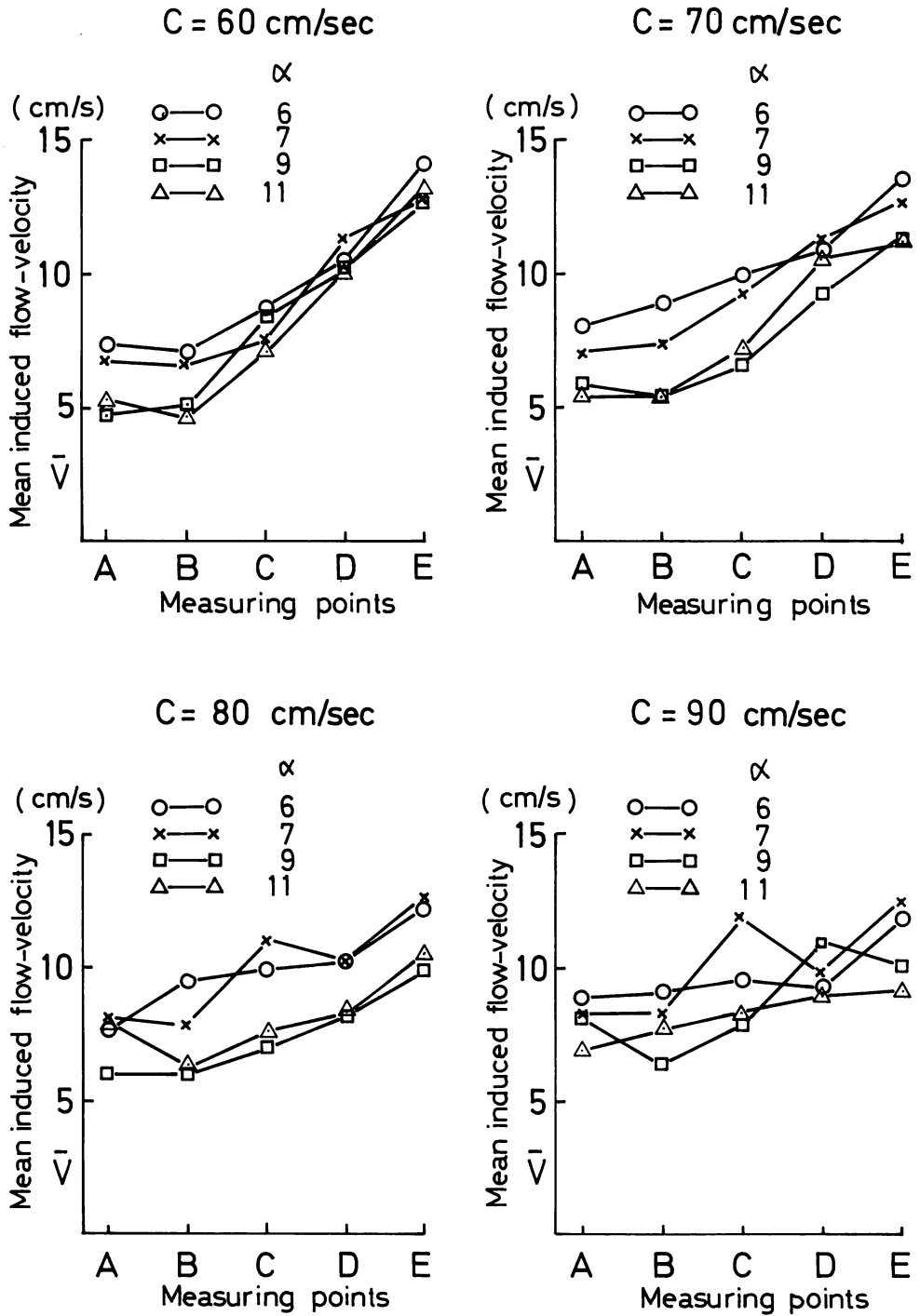


Fig. 6. The mean induced flow-velocity at the respective measuring points.

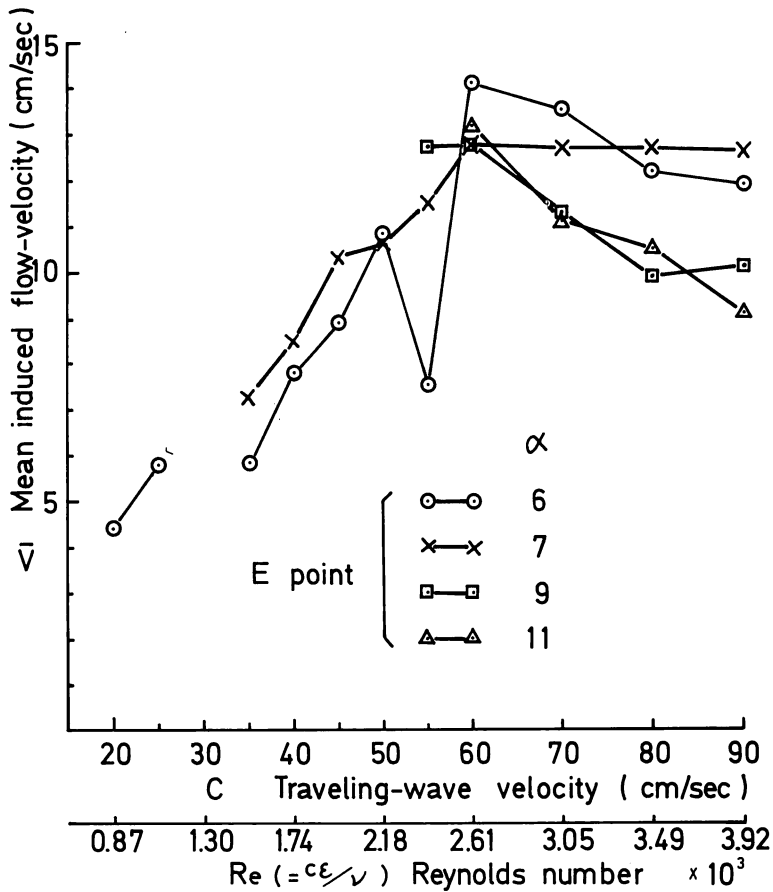


Fig. 7. Traveling-wave velocity and the mean induced flow-velocity at point E.

次に最大誘起流速を得た、 $c: 60 \text{ cm/sec}$  について、更に細かく測定した結果を誘起流速の立体図として表した (Fig. 8(a), (b)参照)。

$\alpha: 6$  の場合、表層においては流入部 (B 断面) から中央 (C 断面) にかけて、 $v$  の値は低く、流路中央より、ぜん動壁の方が  $v$  の値は高い、これは全体として、ぜん動壁から流路幅の中央へ押されながら水は流れ、流出部 (E 断面) で最大となる。

中層では、 $v$  の値は流入部から流出部まで、表層に比べて低く、一様な流れ、底層で、 $v$  の値は低く、流れは乱れている (Fig. 8(a)参照)。又、流出部で比較すると、 $\alpha$  の値が大になると  $v$  の値は減少し、特に、中層から底層にかけての乱れが激しい (Fig. 8(b)参照)。

ビデオカメラ撮影による可視化 (タフト法、色素法) の結果、表層の流れは、流入部から中央にかけて緩やかな下降流、流出部で緩やかな上昇流を呈している。中層は全般に緩やか

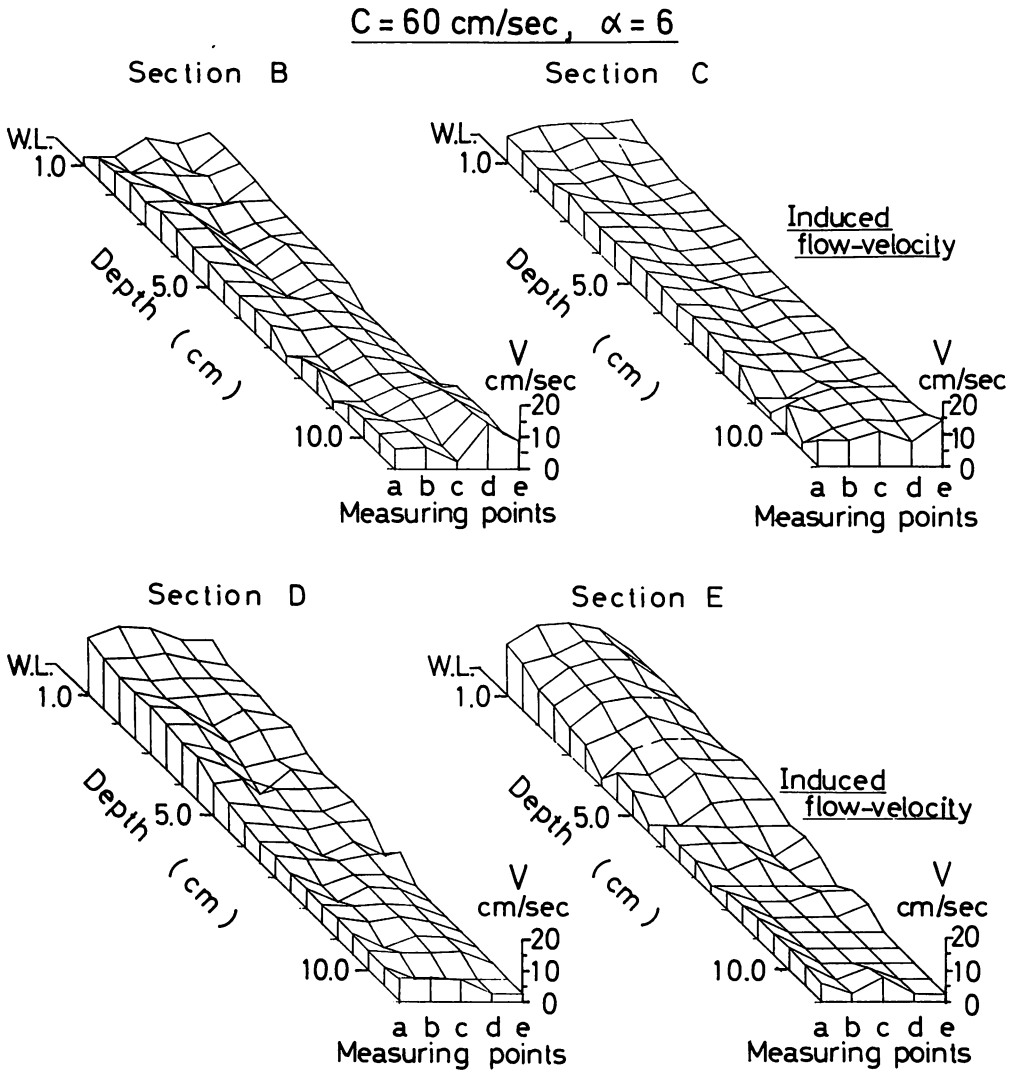


Fig. 8 (a) Three-dimensional graphs of induced flow-velocity at the respective measuring sections.

$C = 60 \text{ cm/sec}$ , Section E

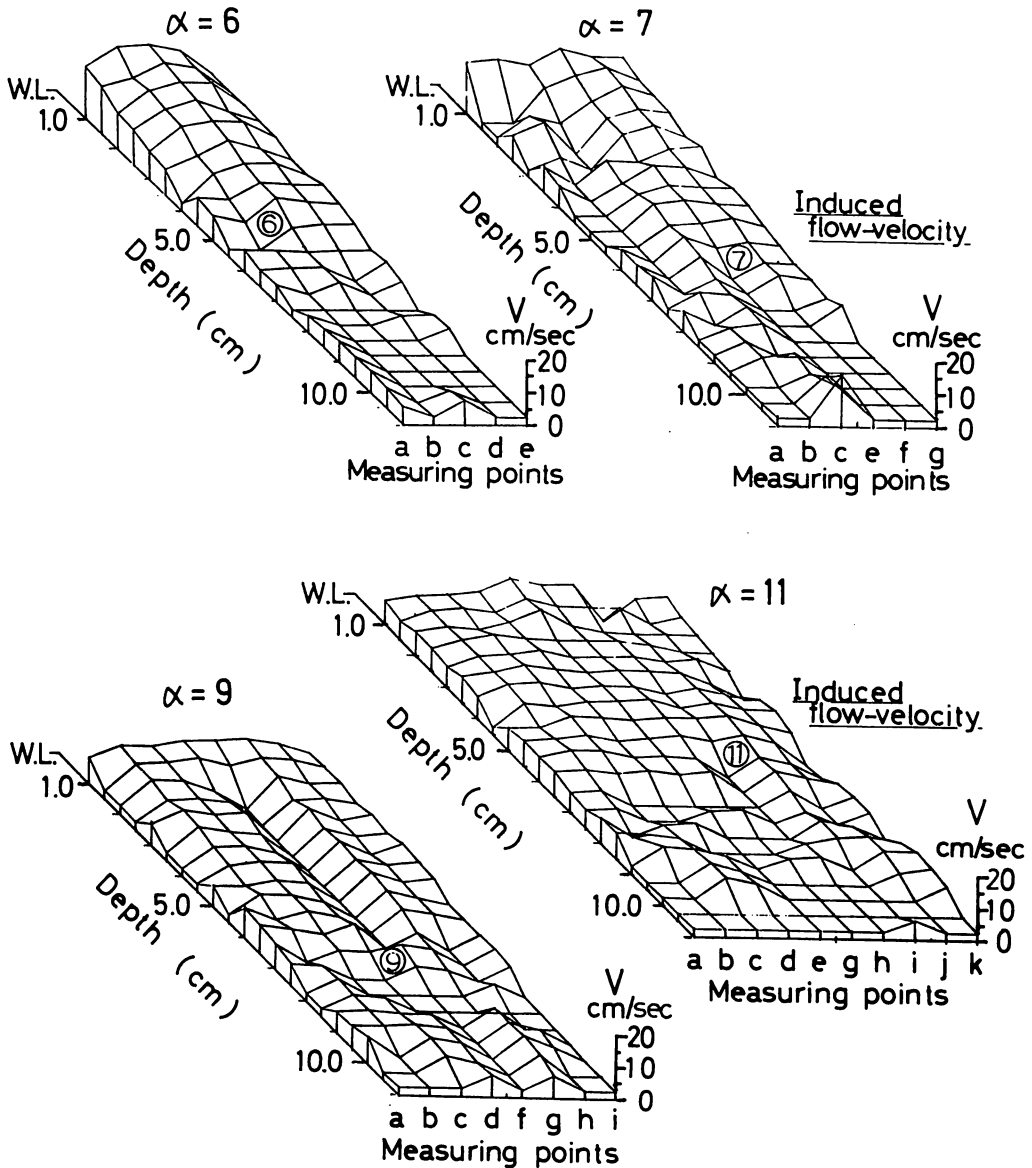


Fig. 8 (b) Three-dimensional graphs of induced flow-velocity at the respective amplitude ratios.

な上昇流である。底層は色素が、すぐに散乱する程、乱れて、流路内の水は船底下方へ押し出され、渦流に近い状態で流れている。抵抗試験結果を Table 2 に示す。流速（船速）10 cm

Table 2. Results of the resistance test in the circulating-water-channel.

Amplitude ratio $\alpha$ ( $=H/2\epsilon$ )	Traveling wave velocity C (cm/sec)	Ship velocity V (cm/sec)	Ship resistance $R_T$ (gr)	(%)
6	0	10	10.9	
		20	43.3	
		30	92.0	
		40	174.7	
	55	10	8.1	-25.6
		20	41.5	- 4.2
		30	96.8	+ 5.2
		40	171.5	- 1.9
	60	10	7.5	-31.2
		20	44.2	+ 2.0
		30	89.1	- 3.2
		40	168.4	- 3.6
	70	10	7.1	-34.8
		20	42.5	- 1.9
		30	100.1	+ 8.8
		40	165.4	- 5.3

／sec においては、 $c$  が何れの場合も、内側壁を、ぜん動運動させることにより、抵抗は、約25～34%の減少がみられ、流速が20, 30, 40cm/sec においては、不安定な値で、必ずしも減少するとは限らない。可視化によると、ぜん動波を発生させる駆動電動機の回転が6311～8022 *r. p. m.* ( $c$ : 55～70cm/sec) と高いために、その振動が模型船全体に伝わり、更に水面へと及び、水槽の流れと相まって、船体抵抗に影響している (Fig. 9 参照)。

準自航試験結果を Table 3 に示す。経過時間と試走距離から、最小二乗法により実験式を求め、この式を微分して模型船の速度を求めた (Fig. 10参照)。  $c$ : 40cm/sec の時、 $\alpha$  の違いによる速度の差は大であるが、 $c$  が増すにつれて、 $\alpha$  の違いによる、その差は小となる。一般に、 $\alpha$  が何れの場合も、速度は  $c$  の増加に伴った増となっている。

今回は試走距離を 2 m に限定した実験であったが、本来は、距離を限定せずに速度が安定するまで行うべきであった。又、ぜん動運動によるポンプ作用を、推力として利用した実験であるから、模型船は直進すると考え、舵、プロペラ無しの状態であったが、必ずしも、直進しなかった事は、ぜん動運動に片寄りが有ったと懸念される。

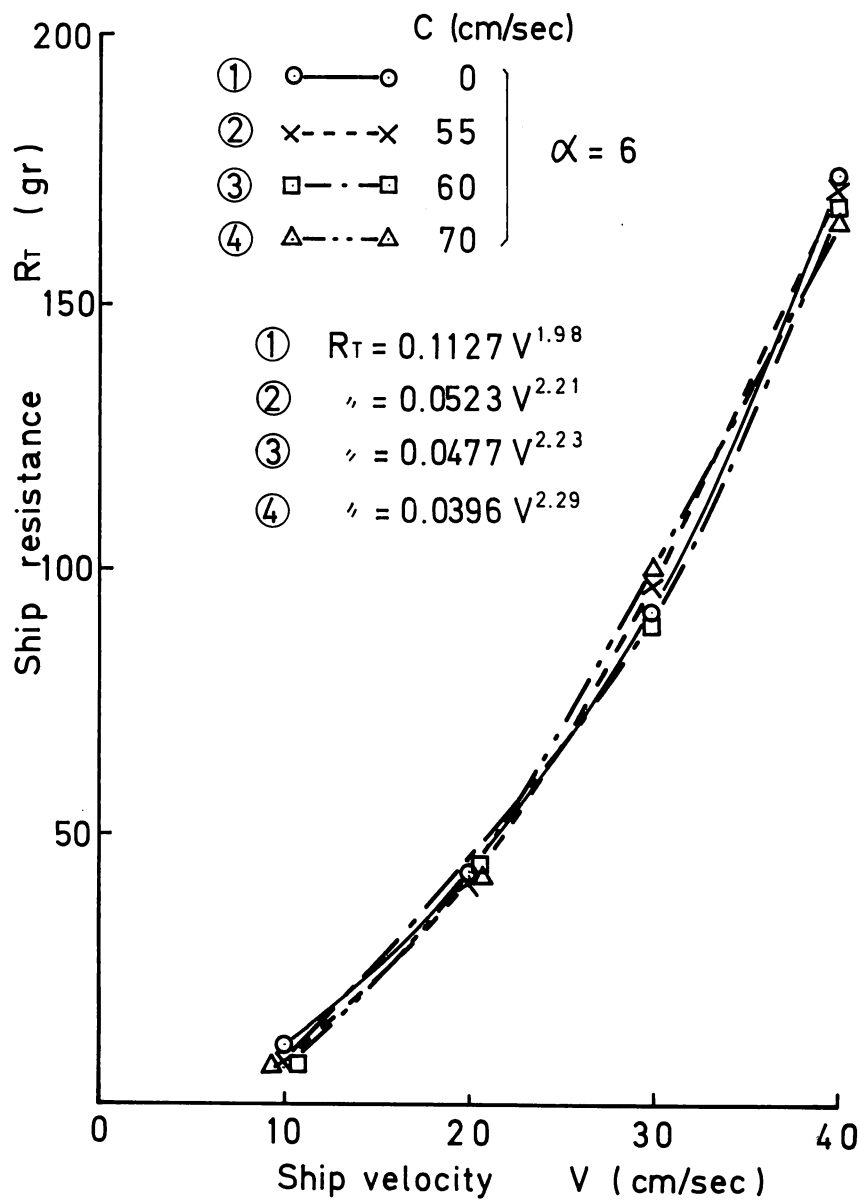


Fig. 9. Results of the resistance test in the circulating-water-channel.

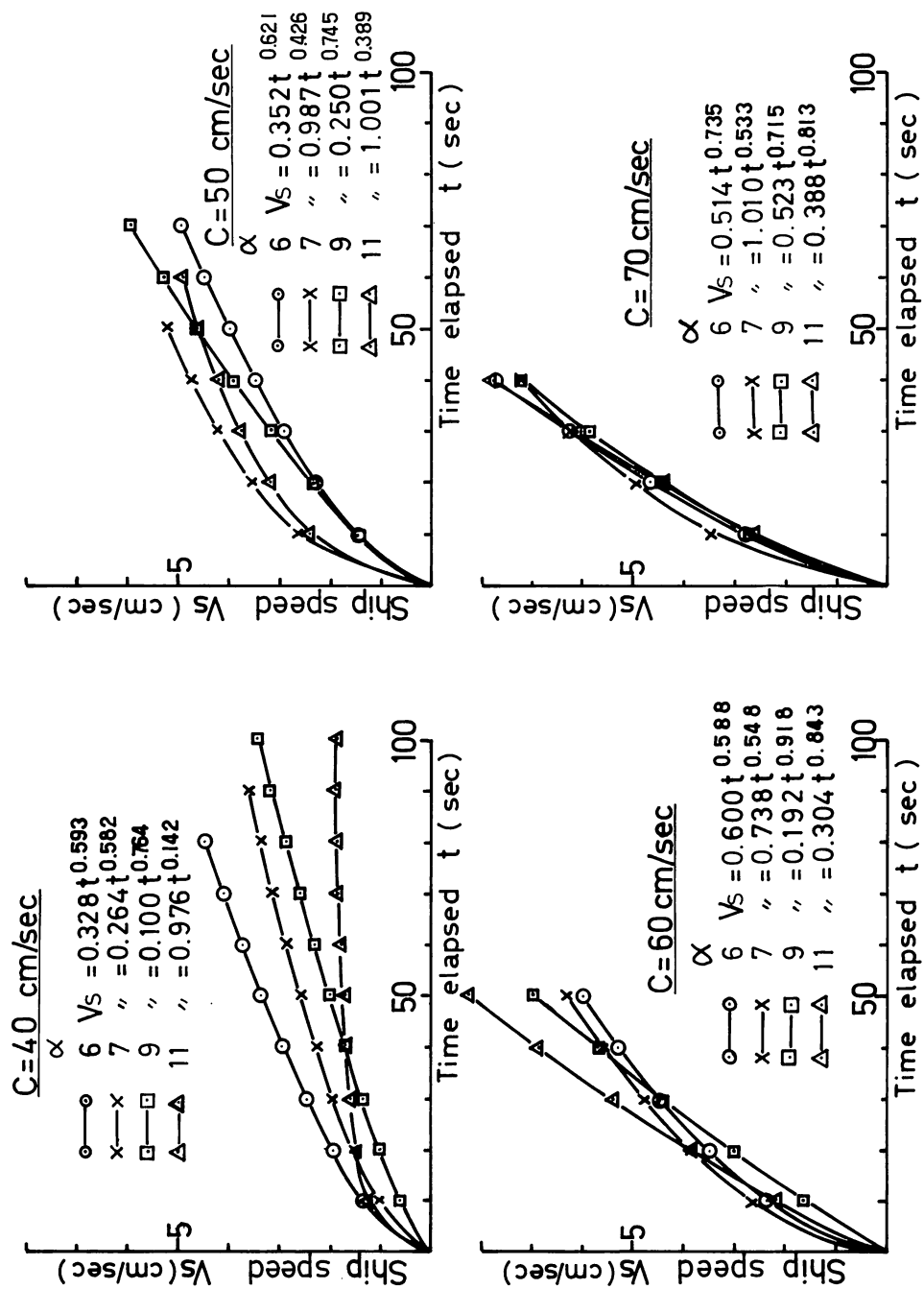


Fig. 10. The relation ship between speed and time elapsed during the quasi-self-propulsion test.

Table 3. Results of the quasi-self-propulsion test.

Traveling wave velocity C (cm/sec)	Amplitude ratio $\alpha$ ( $=H/2\epsilon$ )	Advance distance (cm)							
		25	50	75	100	125	150	175	200
		Time elapsed t (sec)							
40	6	20.5	30.9	40.7	48.9	56.0	62.5	69.0	75.0
	7	24.0	35.8	48.5	57.0	66.0	73.0	82.0	88.0
	9	32.0	45.0	57.5	69.4	77.5	86.5	94.8	103.0
	11	19.0	35.5	50.5	65.5	79.5	91.0	105.0	118.0
50	6	18.8	28.8	36.3	44.0	50.1	56.8	62.2	67.8
	7	12.0	20.5	27.5	33.4	39.0	43.0	47.5	52.0
	9	19.5	28.2	36.3	42.5	48.7	53.8	58.8	63.8
	11	12.5	21.5	29.5	35.0	41.0	46.5	51.5	56.5
60	6	14.1	21.5	28.0	33.5	38.3	43.0	47.9	52.3
	7	12.5	20.8	27.0	32.3	36.5	40.8	44.6	48.8
	9	18.1	25.1	31.1	36.6	41.3	45.1	49.4	52.9
	11	15.0	22.5	28.0	32.5	37.0	40.0	43.3	47.0
70	6	13.2	18.9	24.0	28.5	32.5	36.5	39.7	43.4
	7	10.5	17.5	21.5	26.9	30.5	34.7	37.8	41.1
	9	13.3	19.2	24.4	30.0	33.1	36.7	41.1	44.2
	11	14.0	20.0	24.8	29.9	33.6	37.1	40.5	43.6

Table 4. Speed and power of the twinhull model.

Amplitude ratio $\alpha$ ( $=H/2\epsilon$ )	Traveling wave velocity C (cm/sec)	Time elapsed t (sec)	Ship speed Vs (cm/sec)	Ship resistance R <sub>T</sub> (gr)	Effective horse power (P. S.)
6	60	10	2.32	0.31	$0.96 \times 10^{-7}$
		20	3.49	0.77	$3.58 \times 10^{-7}$
		30	4.43	1.31	$7.73 \times 10^{-7}$
		40	5.25	1.91	$13.37 \times 10^{-7}$
		50	5.99	2.56	$20.44 \times 10^{-7}$
	70	10	2.81	0.42	$1.57 \times 10^{-7}$
		20	4.64	1.32	$8.16 \times 10^{-7}$
		30	6.28	2.63	$21.95 \times 10^{-7}$
		40	7.73	4.26	$43.90 \times 10^{-7}$



次に、準自航試験、抵抗試験の結果から、有効馬力の推定を行った。船が、速度  $V_s$  で曳航されている時、船首のロープの水平張力が  $R_T$  であるとすれば、船の全抵抗に打勝つに要する馬力、即ち、全部が有効に船の前進に使用される有効馬力は次式で与えられる<sup>5)</sup>。

$$\text{有効馬力} = R_T (\text{kg}) \times V_s (\text{m/sec}) / 75 (\text{kg.m/sec}) \text{ P.S.}$$

$V_s$  は準自航試験結果の値、 $R_T$  については、抵抗試験より求めた実験式、Fig. 9 の①、②、③、④にそれぞれ対応する  $V_s$  を代入して求め、馬力を算出した (Table 4 参照)。規模としては、わずかではあるが、ポンプ効果が有ることは認められ、最大 E.H.P. :  $43.90 \times 10^{-7}$  P.S. ( $\alpha : 6$ ,  $c : 70 \text{ cm/sec}$ ) を得た。

以上の事から、本実験において、 $\alpha$  の変化に対する  $V_s$  の違いにみられる如く、定性的には一致するが、定量的には必ずしも一致しない。この事について、実験の録画によると、①  $v$  の測定では、流路の流出部から出た流れが、箱型水槽壁に当たり、波状になって反射する。②駆動モーターによる船体の振動。③試走距離等が問題点として確認できた。今後、更に詳細な検討を加えて実験を進めて行きたい。

## 要 約

- 1) 振幅 ( $\varepsilon$ )  $0.5 \text{ cm}$  の場合、進行波速度 ( $c$ )  $60 \sim 90 \text{ cm/sec}$  の範囲で、何れの振幅比 ( $\alpha$ ) においても、誘起流速 ( $v$ ) は、流入部で小さく、中央から徐々に増速され、流出部で最大となり、重畳効果が認められた。 $\alpha : 6$ ,  $c : 60 \text{ cm/sec}$  の時、平均最大値  $14.1 \text{ cm/sec}$ 。
- 2) 有効馬力は、 $\alpha : 6$ ,  $c : 70 \text{ cm/sec}$ , 速度  $7.73 \text{ cm/sec}$  の時、抵抗  $4.26 \text{ gr}$ , E.H.P. :  $43.90 \times 10^{-7}$  P.S. と推定される。
- 3) 準自航試験の場合、何れの  $\alpha$  においても  $c$  の増加に伴い、誘起流速、従って船速も増加し、 $\alpha$  の違いによる速度差は小、 $\alpha : 11$ ,  $c : 60 \text{ cm/sec}$  の時、最大値  $8.23 \text{ cm/sec}$  を得た。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、御指導を賜った本学部、教授奈良迫嘉一博士に深甚の謝意を表する。

## 文 献

- 1) 鮎川恭三・古川真一(1977): 壁がぜん動運動する流路の流れ。  
日本機械学会論文集, No. 775-1, 124-126.
- 2) 中山 博・奈良迫嘉一(1982): 内側壁がぜん動運動する開水路内の流れについて—I。  
鹿児島大学水産学部紀要. Vol. 31, 21-33.
- 3) 吉田文二(1980): “船の科学”, 64-68 (講談社, 東京).
- 4) 浅沼強編(1977): “流れの可視化ハンドブック”, 150-168, 180-184 (朝倉書店, 東京).
- 5) 大串雅信著(1973): “理論船舶工学(下)”, 71-79 (海文堂出版株式会社, 東京).