

キャビテーション試験水槽における模型船船尾の伴流分布

門井 弘行*・岡本三千朗*・鈴木 茂*

Wake Distributions behind Container Ship Models in the Cavitation Tunnel

By

Hiroyuki KADOI, Michio OKAMOTO and Shigeru SUZUKI

Abstract

In order to investigate the tunnel wall influence on the wake distributions behind the ship models in the cavitation tunnel, wake surveys have been conducted both in the towing tank and in the cavitation tunnel using three geosim ship models.

The shortened model, which was obtained by reducing the length of fore part of the complete model, was also used only in the cavitation tunnel.

Following conclusions were obtained.

1) The circumferential distributions of the axial wake component of three geosim ship models were almost similar in the two test facilities, but the local wake fraction and the mean wake fraction in the cavitation tunnel were higher than in the towing tank at the same speed of ship model, especially in the case of large model.

2) In the cavitation tunnel, the axial wake component decreased with increasing Reynolds number, but the effect of Reynolds number on the radial and tangential wake component was little as well as in the towing tank.

3) The axial wake component of the shortened model in the cavitation tunnel coincided with that of the complete model in the towing tank without any change of the radial and tangential wake component at the higher Reynolds number.

1. ま え が き

船用プロペラのキャビテーションに関する研究の手段の一つとして、古くからキャビテーション試験水槽を使用して実験的研究が行われてきた。最初はキャビテーションがプロペラ特性におよぼす影響を調べるための均一流中の試験が主であった。その後、商船の大型化、高速化に伴って、キャビテーションに起因するプロペラ翼損傷発生例が多くなった。このプロペラ翼の損傷は、プロペラが船尾の不均一流中中で作動するさいに生ずる非定常キャビテーションが主原因となって発生する。このため、翼に損傷が発生するか否かを調べるために、プロペラの前方にノズルやワイヤメッシュ・スクリーン等を用いた不均一流発生装置を設け

たキャビテーション試験水槽において、不均一流中のキャビテーション試験が実施されるようになった。しかし、このような不均一流発生装置によって再現された不均一流は、プロペラ軸にほぼ平行な二次元流れであり、船尾の複雑な三次元流れを再現しているとはいいがたい。そこで近年、模型船の船尾伴流中でキャビテーション試験が実施できるキャビテーション試験水槽が建設されるようになった。

この種の試験水槽の形式は2種類あり、堅型回流水槽形式のものとして船舶技術研究所の大型キャビテーション試験水槽¹⁾と、Swedish State Shipbuilding Experimental Tank の Large Cavitation Tunnel²⁾が、曳航水槽形式のものとして Netherlands Ship Model Basin の Depressurized Towing Tank³⁾がある。回流水槽形式のキャビテーション試験水槽の場合、比較的高速の流場で試験が行え、また計測時間が長くとれる

* 推進性能部

原稿受付：昭和55年1月21日

といった利点があるが、一方、計測部の断面寸法をそれほど大きくすることができないので、船体周りの流場に水槽側壁の影響が、多かれ少なかれ現われるという欠点がある。

今回、船舶技術研究所の三鷹第二船舶試験水槽⁴⁾および大型キャビテーション試験水槽において、4隻の模型船を用いて船尾プロペラ位置の伴流分布計測を実施した。それらの結果より、比較的広い水路の曳航水槽で計測された伴流分布を基にし、制限水路であるキャビテーション試験水槽内の模型船船尾の伴流分布にたいする側壁の影響を検討した。

2. 供試模型船

使用した模型船は4隻で、このうち3隻は長さ200 mの高速コンテナ船の相似模型である。その主要目をTable 1に、船首と船尾の形状および正面線図をFig.

Table 1 Principal particulars of the ship models

M.S. No.	0234	0274	0275	0276
L_{pp} (m)	6.960	5.800	4.930	4.350
B (m)	1.009	0.814	0.715	0.814
d (m)	0.365	0.305	0.259	—
D' (m)	0.436	0.363	0.309	0.363
A/A_0	0.250	0.215	0.182	0.215

Remarks; d =Draft for test in towing tank
 D' =Draft for test in cavitation tunnel
 $A=B \times D'$
 A_0 =Cross sectional area of No. 2 working section of cavitation tunnel
 $=1.76 \text{ m}^2$

1に示す。Table 1に示す模型船のうち M.S. No. 0276は、船体後半部は M.S. No. 0274と同一で、船体前半部のスケアステーションの間隔を1/2に縮少し、フレームライン形状は M.S. No. 0274と同一にした短縮模型船であり、船長を短縮したことにより側壁影響を小さくし、キャビテーション試験水槽における伴流分布を、曳航水槽で計測した伴流分布に近づけることを目的としたものである。

各模型船ともに喫水は、曳航水槽の場合は計画満載喫水($=d$)としたが、キャビテーション試験水槽の場合にはプロペラ位置の伴流分布におよぼす計測部上部側壁の影響を極力小さくするため、計画満載喫水の約20%増の喫水($=D'$)とした。この喫水線を模型船のトップとし、このトップ面が計測部上部側壁内面への取り付け面となっている。

3. 試験状態

伴流分布の計測は NPL 型の5孔管により行った。曳航水槽においては、M.S. No. 0234, M.S. No. 0274 および M.S. No. 0275 の3隻につき、フルード数 $F_n=0.28$ に対応した速力 V_m で計測を行った。

キャビテーション試験水槽においては、縮流部の上流側と下流側の静圧の差圧より求まる流速 V_0 (ベンチュリメーター) が、曳航水槽における計測時の模型船速力 V_m と等しい場合および $V_0=1.2V_m$ の場合ならびに $V_0=5 \text{ m/s}$ の3状態について計測を行った。また、ほぼプロペラの真横において、側壁より200 mm 水槽中心に寄った位置で標準ピトー静圧管によって流速 V_p の計測も行った。Fig. 2に流速の計測箇所を示す。

試験状態を一括して Table 2 に示す。

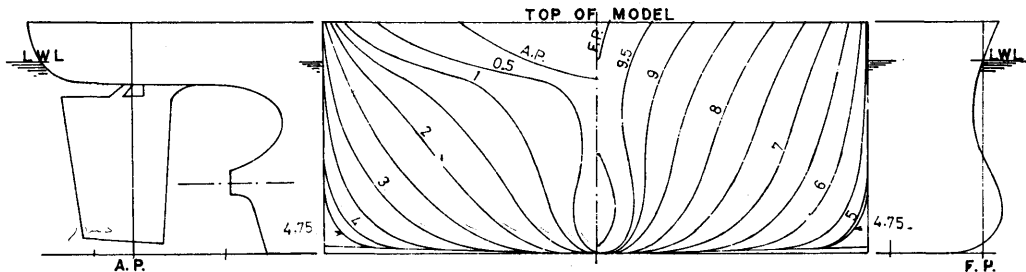


Fig. 1 Stem, stern profile and body plan of the ship model

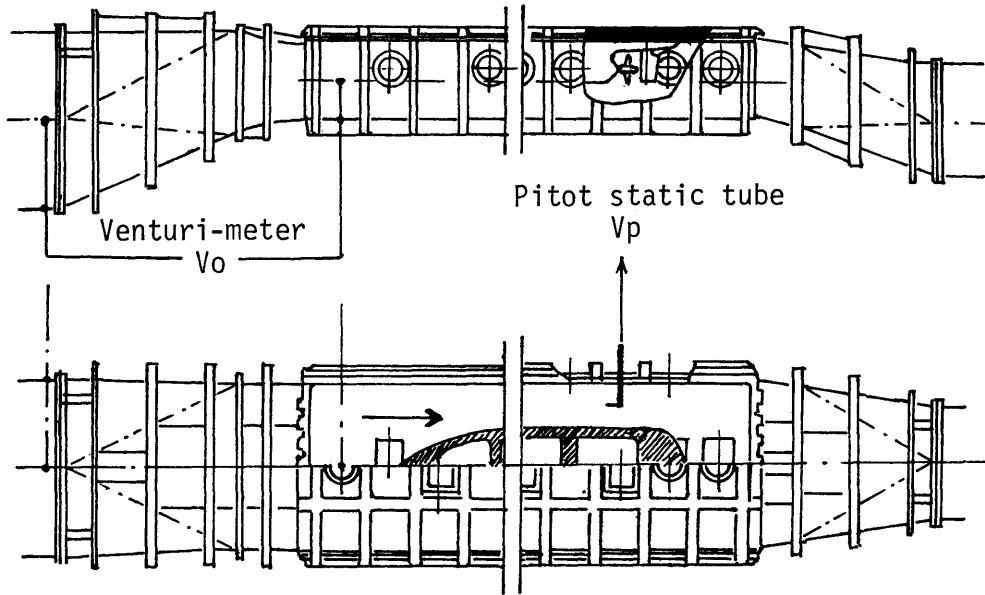


Fig. 2 Measurement of velocities

Table 2 Test condition

M.S. No.	V_m (m/s)	V_0 (m/s)	V_p (m/s)	F_n	$R_n \times 10^7$
0234	2.300	—	—	0.28	1.833
		2.300	2.800	0.28	2.085
		2.700	3.271		2.436
		5.000	5.623		4.284
0274	2.100	—	—	0.28	1.318
		2.100	2.460	0.28	1.652
		2.630	3.140		2.109
		5.000	5.467		3.471
0275	1.940	—	—	0.28	0.902
		1.940	2.140	0.28	1.195
		2.500	2.770		1.547
		5.000	5.367		2.901
0276		2.100	2.340		0.965
		2.630	2.990		1.233
		5.000	5.467		2.427

Remarks; V_m : speed of ship-model in towing tank V_0 : measured by Venturi-meter in cavitation tunnel V_p : measured by pitot static tube in cavitation tunnel

$$F_n = V_m / \sqrt{L_{WL} \cdot g} \text{ or } V_0 / \sqrt{L_{WL} \cdot g}$$

$$R_n = V_m \cdot L_{pp} / \nu \text{ or } V_p \cdot L_{pp} / \nu$$

4. 試験結果

(1) 曳航水槽における試験結果として、Fig. 3 にプロペラ円内の伴流分布および流れ状態を、Fig. 4 に伴流の軸方向成分の分布を、また、Fig. 5 に接線方向および半径方向速度成分の分布を示す。接線方向および半径方向速度成分については、模型船の長さの違いに基づく有意の差は認められない。一方、伴流の軸方向成分については、プロペラ1回転中の分布の形状はほぼ相似であるが、模型船の長さが大きくなるに従い、軸方向の伴流係数 w_x の値は小さく、すなわち、軸方向の速度は大きくなっている。この傾向はこれまでに発表されている相似模型船群により得られた結果⁹⁾と同じ傾向を示している。

(2) キャビテーション試験水槽における試験結果のうち、フルード数=0.28 の場合の、プロペラ円内の伴流分布および流れ状態を Fig. 6 に、伴流の軸方向成分の分布を Fig. 7 に、また接線方向および半径方向の速度成分の分布を Fig. 8 に示す。接線方向および半径方向の速度成分については、曳航水槽の場合と同様に、模型船の長さに基づく有意の差は認められない。伴流の軸方向成分については、プロペラ1回転中の分布の形状はほぼ相似であるが、模型船の長さが大きくなるに従って伴流係数 w_x の値は大きくなって

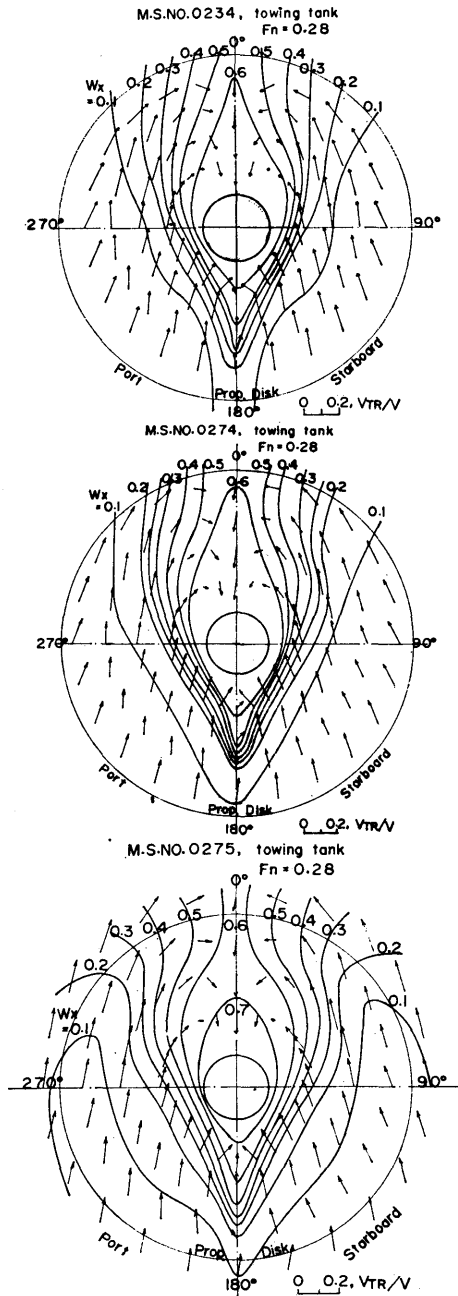


Fig. 3 Wake distributions in the towing tank ($F_n=0.28$)

おり、曳航水槽の場合と逆の傾向を示している。また、曳航水槽の場合に比べ、キャビテーション試験水槽における伴流係数の値の方が大きくなっており、模型船の長さが大きくなるに従ってその差も大きくなっ

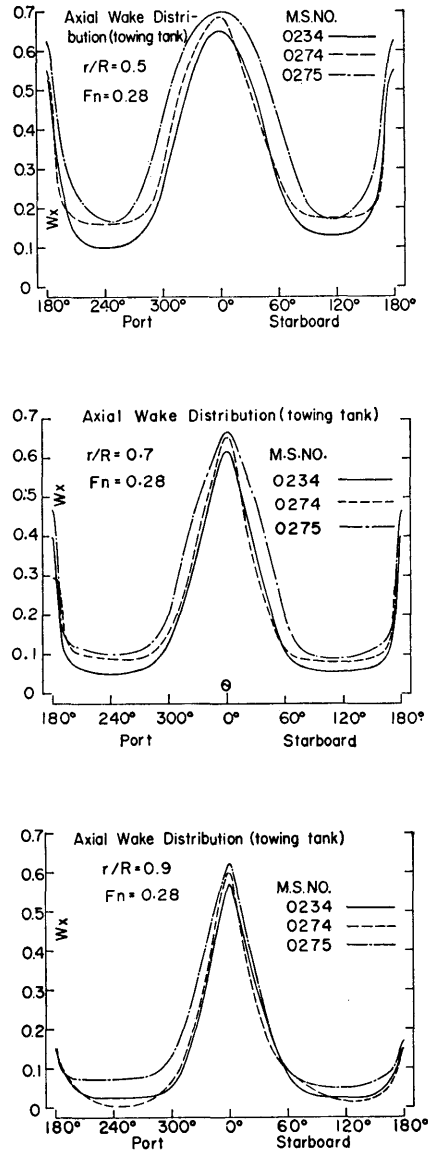


Fig. 4 Circumferential distributions of axial wake component in the towing tank ($F_n=0.28$)

ている。これはキャビテーション試験水槽では、計測部断面積にたいする模型船断面積の比 (A/A_0) が大きく、縮りの効果によって、計測部側壁と船側との流れは加速され、曳航水槽の場合より早くなる。プロペラ面を含む断面で考えると、船体中心より遠く離れた位置での流速は上記加速作用の影響によって曳航水槽の場合より早くなるが、船体中心に近いプロペラ面で

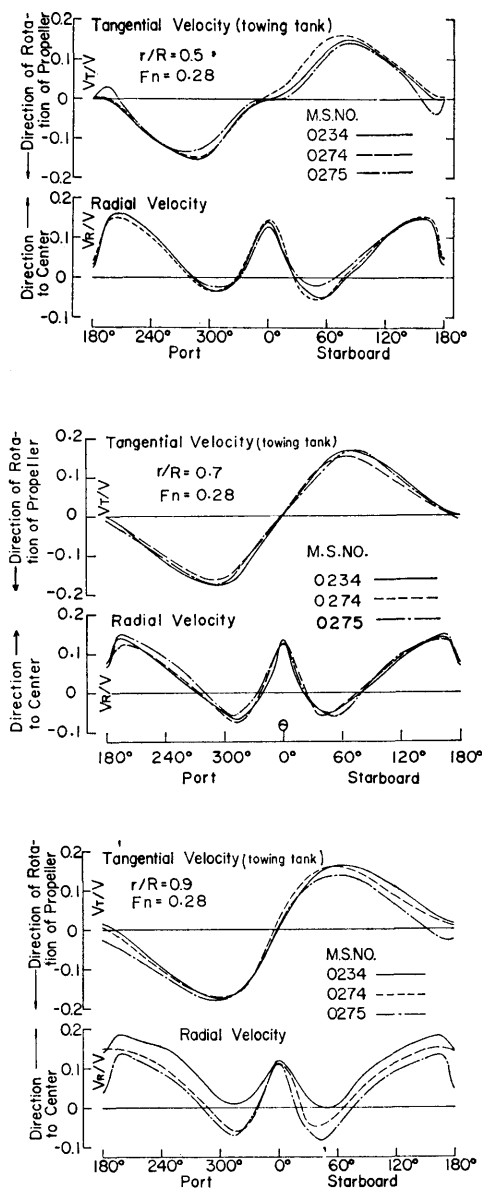


Fig. 5 Circumferential distributions of radial & tangential velocity component in the towing tank ($F_n=0.28$)

の流速は流量一定の条件から曳航水槽の場合より遅くなる、すなわち、伴流係数は大きくなると考えられる。

(3) つぎに、キャビテーション試験を実施する場合を考えると、試験時の計測部における一般流の流速および圧力、プロペラの回転数等は、試験状態を定め

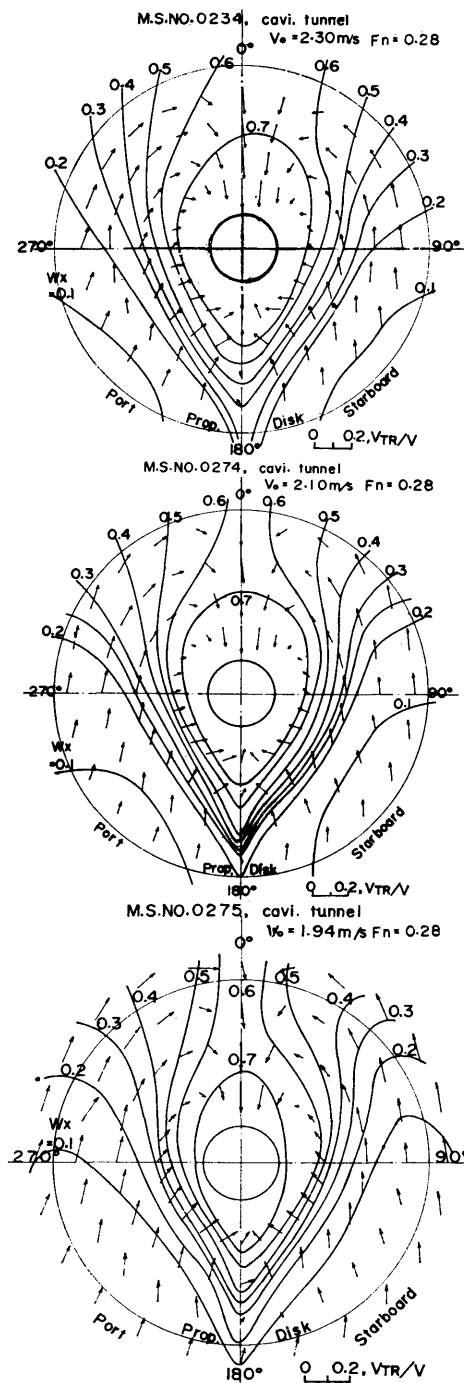


Fig. 6 Wake distributions in the cavitation tunnel ($F_n=0.28$)

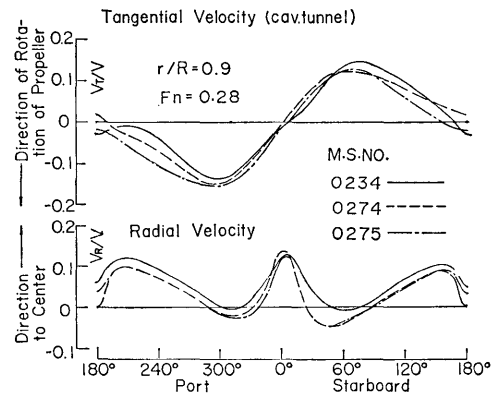
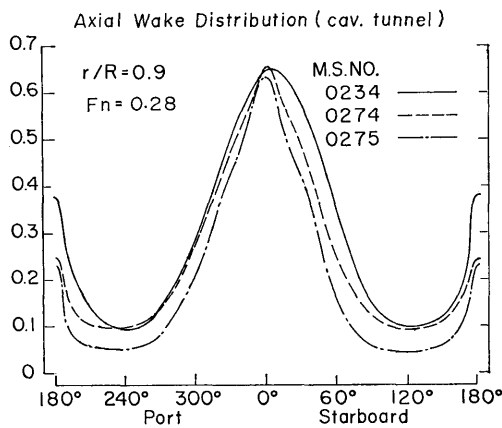
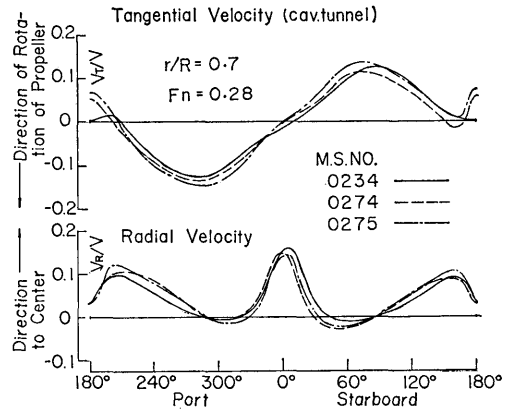
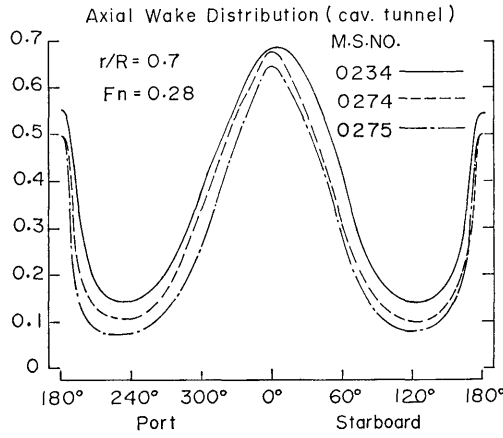
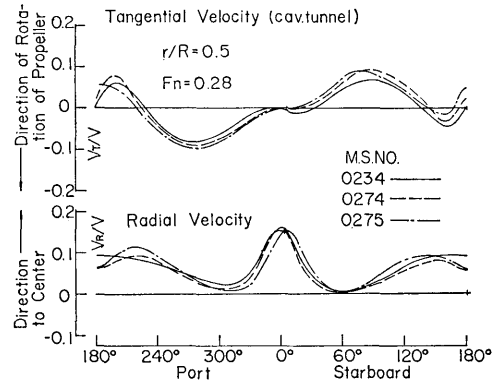
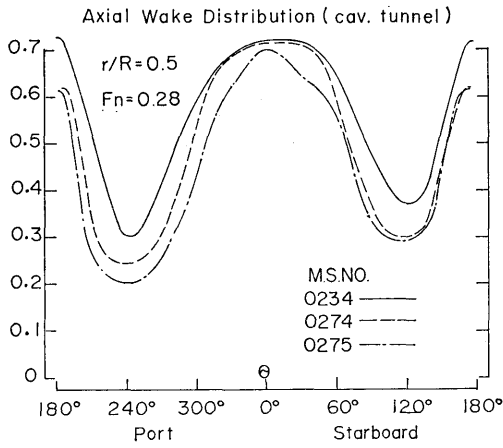


Fig. 7 Circumferential distributions of axial wake component in the cavitation tunnel ($F_n=0.28$)

Fig. 8 Circumferential distributions of radial & tangential velocity component in the cavitation tunnel ($F_n=0.28$)

るプロペラのスラスト係数 K_T およびキャビテーション係数 σ_n の値を基にして決定する。流速, 圧力, プロペラ回転数等の値は任意に選ぶことができるが, 一般には実験技術上, なるべく試験の行い易い値が選ばれる。コンテナ船等の比較的高速の船型の模型船を使用してキャビテーション試験を実施する場合, 船研のキャビテーション試験水槽では, 流速 V_0 は約 5 m/s が適当な値である。そこで, 短縮模型も含め 4 隻の模型船について, キャビテーション試験水槽において $V_0=5$ m/s の場合の伴流計測を行った。プロペラ円内の伴流分布および流れ状態を Fig. 9 に, 伴流の軸方

向成分の分布を Fig. 10 に, 接線方向および半径方向の速度成分の分布を Fig. 11 に示す。接線方向および半径方向の速度成分については, 模型船の長さに基づく有意の差は認められない。また, V_T/V および V_R/V の値は, 流速の小さい場合とほとんど変わっていない。伴流の軸方向成分については, 流速の小さい場合と同様に, 模型船の長さが大きくなるに従って, 伴流係数の値は大きくなるが, その値は流速の小さい場合に比べて小さくなっている。また, M.S. No. 0274 と, その短縮模型 M.S. No. 0276 の関係をみてみると, 両模型船間で, 接線方向および半径方向の速度成分は

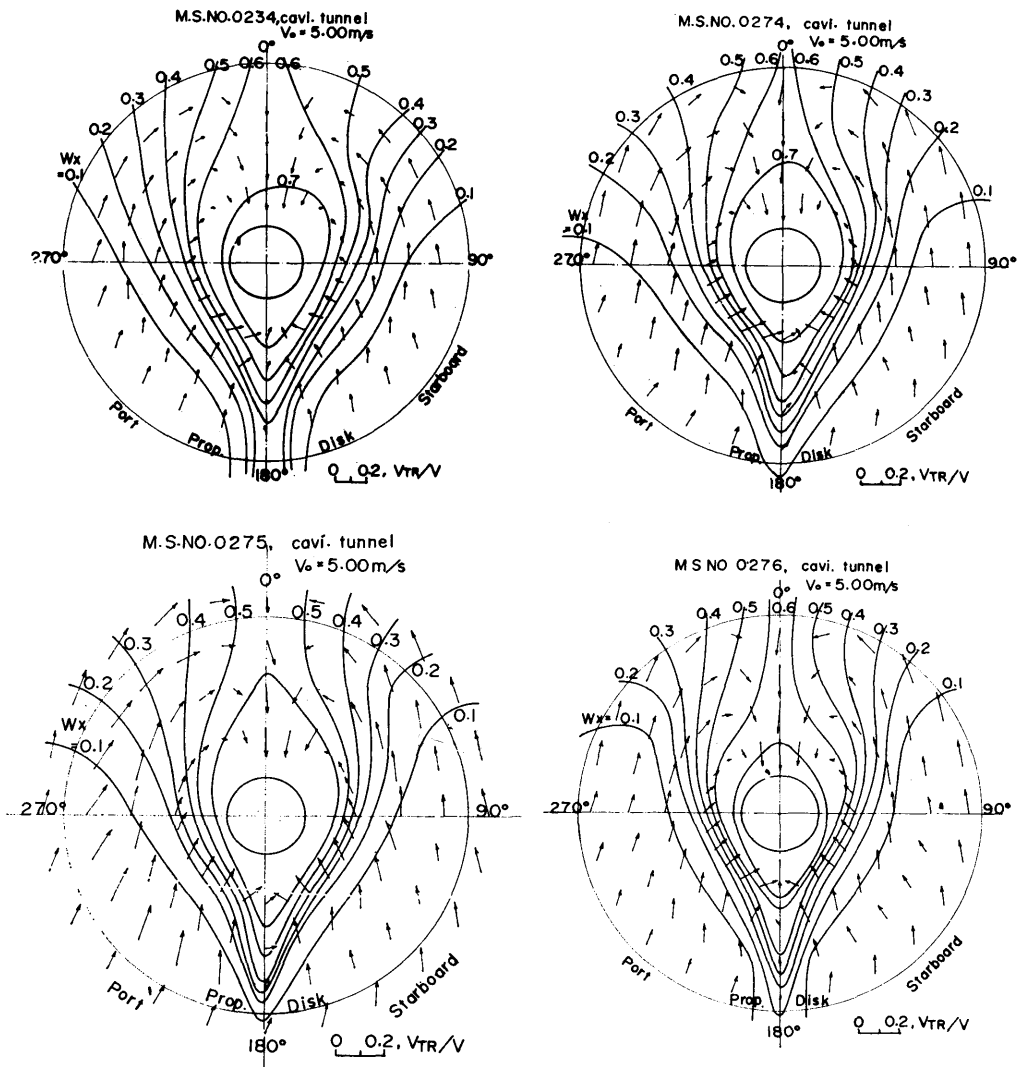


Fig. 9 Wake distributions in the cavitation tunnel ($V_0=5$ m/s)

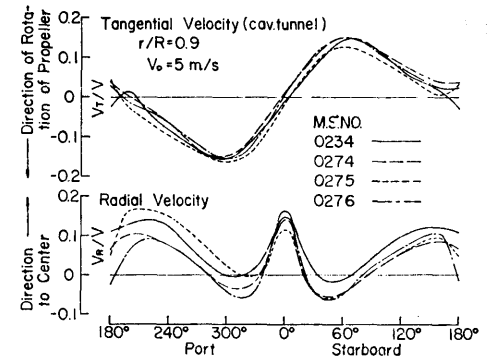
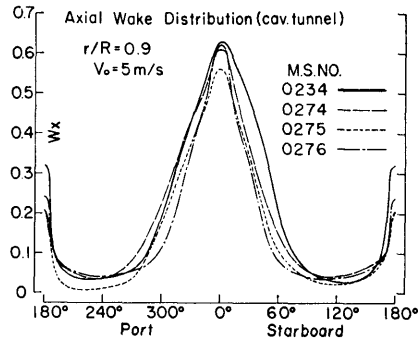
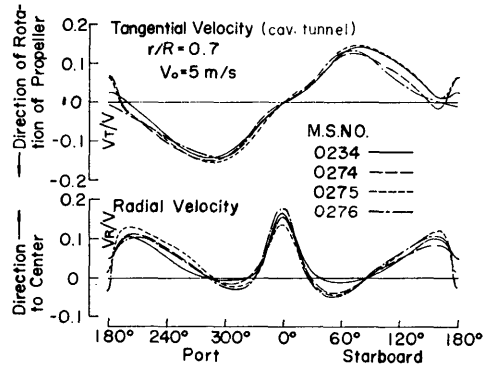
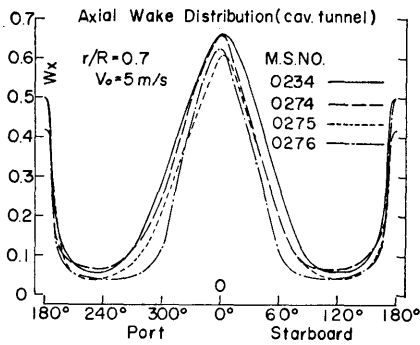
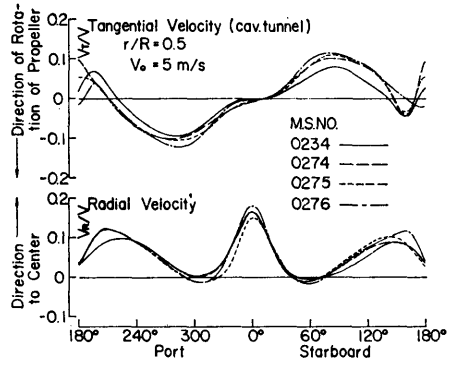
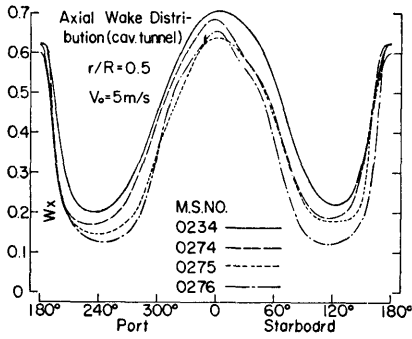


Fig. 10 Circumferential distributions of axial wake component in the cavitation tunnel ($V_0=5$ m/s)

Fig. 11 Circumferential distributions of radial & tangential velocity component in the cavitation tunnel ($V_0=5$ m/s)

ほとんど変化せず、軸方向の伴流係数のみ変化しており、今回採用した方法による短縮模型では、流れの方向を変えることなしに、軸方向の伴流係数の値を小さくすることができる。

(4) キャビテーション試験水槽で行った、4隻の模型船の試験結果すべてをまとめて、その伴流の軸方

向成分の分布を Fig. 12 に、接線方向および半径方向の速度成分の分布を Fig. 13 に示す。また、両図中に比較のために、曳航水槽における試験結果も示した。レイノルズ数は模型船の垂線間長さを基準にとり、曳航水槽の場合は模型船速度を用い、キャビテーション試験水槽の場合はピトー静圧管で計測した流速を用い

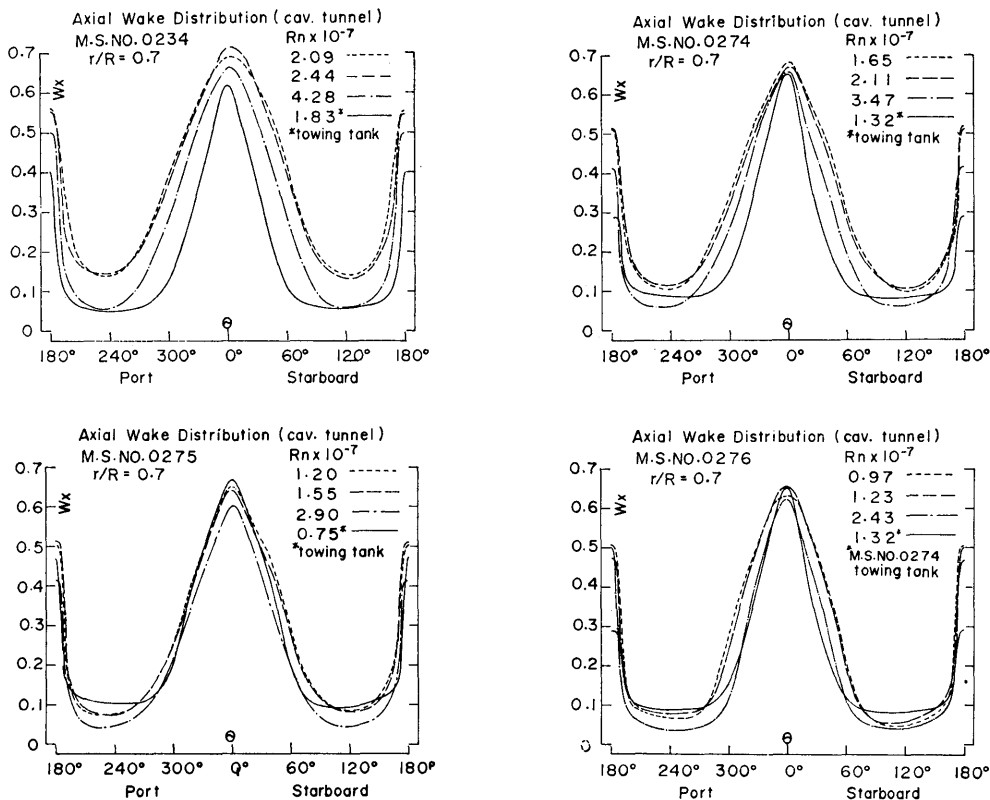


Fig. 12 Circumferential distributions of axial wake component at various Reynolds numbers in the cavitation tunnel

て計算した。レイノルズ数が変化しても接線方向および半径方向の速度成分は、その値も分布形状もほとんど変化しないが、軸方向の伴流係数の値はレイノルズ数が増加すると減少する。つぎに、曳航水槽の試験結果と比較すると、伴流の軸方向成分については、模型船長さの比較的大きい M.S. No. 0234 と M.S. No. 0274 の場合は側壁の影響を強くうけ一番大きなレイノルズ数の場合でも曳航水槽の試験結果とかなり異っている。一番寸法の小さい M.S. No. 0275 の場合は曳航水槽の試験結果との一致度はかなり良好であり、また、短縮模型の M.S. No. 0276 の場合も一番大きなレイノルズ数の場合に、原型である M.S. No. 0274 の曳航水槽の試験結果と良く一致している。タンカー模型船で、船体中央平行部をとりぞいた短縮模型⁹⁾で、伴流係数の値が原型より小さくなっている例もあり、曳航水槽で計測した伴流分布と良く一致した伴流分布をキャビテーション試験水槽で得るためには、模型プロ

ペラの寸法等を考慮すると、模型船の寸法をあまり小さくするよりは、適当な短縮模型を用いた方がよい。

(5) 以上の試験結果全部について、プロペラ円内の平均公称伴流係数 \bar{w}_x を求めた。 \bar{w}_x は下式による容積平均値である。

$$\bar{w}_x = \frac{\int_{r_B}^R w'_x \cdot 2\pi r \cdot dr}{\int_{r_B}^R 2\pi r \cdot dr}, \quad w'_x = \frac{\int_0^{2\pi} w_x \cdot r \cdot d\theta}{\int_0^{2\pi} r \cdot d\theta}$$

計算結果を Fig. 14 に示す。キャビテーション試験水槽の場合、各模型船ともに、レイノルズ数の増加とともに、平均公称伴流係数 \bar{w}_x の値は同じ傾斜をもってほぼ直線的に減少する。曳航水槽の場合は、模型船の長さが大きく（レイノルズ数が大きく）なるとともに平均公称伴流係数の値はほぼ直線的に減少し、その傾斜はキャビテーション試験水槽で流速を変えてレイノルズ数を変化させた場合とほぼ等しくな

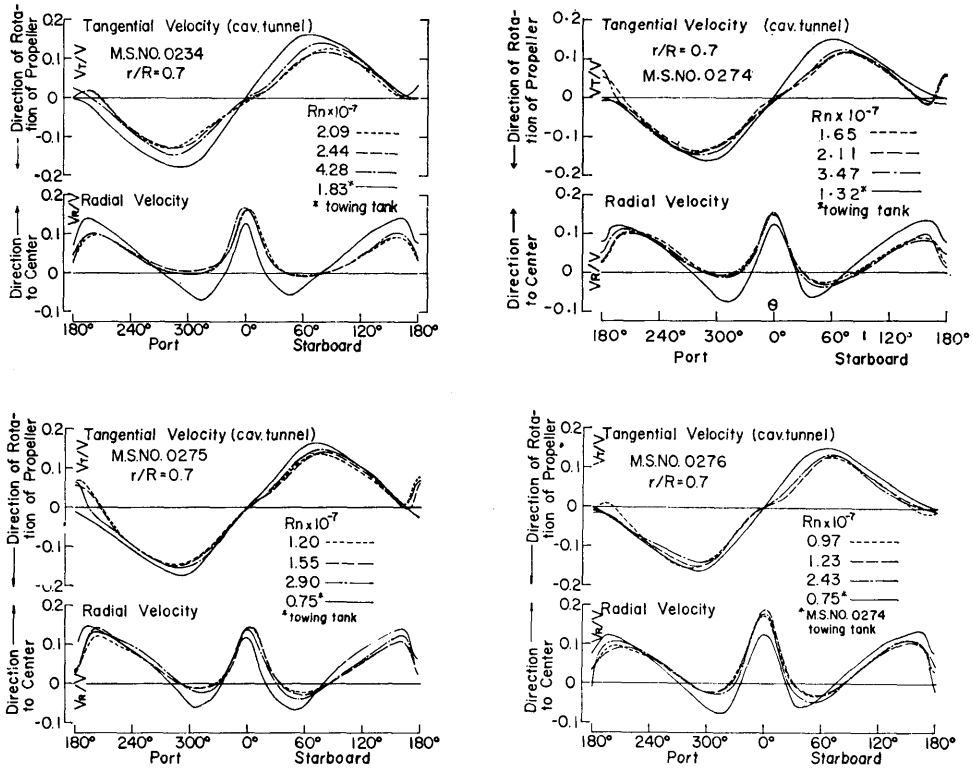


Fig. 13 Circumferential distributions of radial and tangential velocity component at various Reynolds numbers in the cavitation tunnel

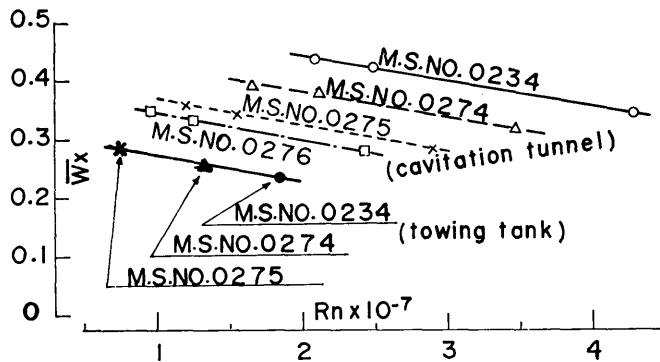


Fig. 14 Nominal wake fractions

ている。

5. おわりに

コンテナ船型を対象とした今回の試験結果の主なものをとりまとめると、

(270)

i) フルード数 (曳航水槽の場合は V_m を、キャビテーション試験水槽の場合には V_0 を用いた。) を一定にして比較すると、3隻の模型船 (M.S. No. 0234, 0274 および 0275) の、伴流の軸方向成分 w_x のプロペラ1回転中の分布形状は、曳航水槽の場合もキャビ

テーション試験水槽の場合も、ほぼ相似であるが、局所的な伴流係数および平均伴流係数の値は異なる。すなわち、曳航水槽の場合は、模型船の長さが大きくなるに従って伴流係数は減少するが、キャビテーション試験水槽の場合は、模型船の長さが大きくなるに従って伴流係数は増加する。これは、伴流の軸方向成分にたいするキャビテーション試験水槽の計測部側壁の影響が大きいことを示すものである。一方、接線方向および半径方向の速度成分については、両水槽の場合ともに、模型船の長さに基づく有意の差は認められない。

ii) 各模型船毎に、フルード数一定で曳航水槽とキャビテーション試験水槽での伴流分布を比較すると、長さの一番短かい M.S. No. 0275 の場合には、両水槽における伴流分布はかなり似た分布を示すが、模型船の長さが比較的大きい M.S. No. 0234 と M.S. No. 0275 の場合、両水槽における伴流分布の間にはかなりの差があり、一致度は悪い。長さの大きい模型船の場合、流速を増してレイノルズ数を増加させても、あまり一致度は良くならない。

iii) キャビテーション試験水槽では、プロペラの寸法等も考慮すると、模型船の寸法を小さくするよりは、適当な寸法の模型船を何らかの方法で短縮するのが良策であり、曳航水槽での伴流分布にたいしてかなり一致度の良い伴流分布が得られる。

iv) 曳航水槽の場合も、キャビテーション試験水槽の場合も、各模型船ともに平均公称伴流係数の値は、レイノルズ数の増加に従ってほぼ一定の傾斜で直線的

に減少する。しかし、接線方向および半径方向の速度成分にたいするレイノルズ数の影響はきわめて小さい。

v) 今回検討した比較的瘠せた船型の場合でも、比較的大きな寸法の模型船の場合、キャビテーション試験水槽での伴流分布と曳航水槽での伴流分布の一致度は十分ではなく、短縮模型等の工夫が必要である。まして肥大船等の blockage の大きな船の場合には一層一致度が悪くなることが予想されるので、船体周りの境界層の制御とか、船型のダミーモデル化等によって実船対応の伴流分布を得る方法を検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 推進性能部：“大型キャビテーション試験水槽の建設について”，船研報告，第14巻，第1号（1977）
- 2) H. Edstrand：“The Cavitation Laboratory of the Swedish State Shipbuilding Experimental Tank”，SSPA Report No. 32（1974）
- 3) M. W. C. Oosterveld and P. van Oossanen：“Recent Results of Tests in the NSMB Depressurized Towing Tank”，STAR Symposium, SNAME（1975）
- 4) 推進性能部：“三鷹第2船舶試験水槽の建設について”，船研報告，第6巻，第4号（1969）
- 5) 例えば138研究部会：“高速コンテナ船の馬力推定法の精度向上に関する研究”，造船研究協会，研究資料，No. 220（1975）
- 6) G. Dyne：“A Study of the Scale Effect on Wake, Propeller Cavitation, and Vibratory Pressure at Hull of Two Tanker Models”，SNAME（1974）