係留けん引時の推力減少率*

中井 昇**・中沢 武**
西川 栄一**・内田 誠**

Thrust Deduction Ratio under Bollard Pull Condition

by Noboru Nakai, Eiichi Nishikawa, Takeshi Nakazawa, Makoto Uchida

The Bollard pull test for “Fukae maru” was carried out with the varied pitch angle under constant propeller revolution. Making use of measured values, the torque and thrust coefficients of a actual propeller were calculated at advance coefficient of zero. These coefficients were compared with the both results of open water test with a model propeller and open water propeller series test.

The actual torque coefficients were consequently between the both results. On the other hand, the actual thrust coefficients are smaller than those of open water test and nearly equal to those of propeller series test.

If those of open water test were considered standard, the thrust deduction ratio* become 0.13~0.15. As these values are larger than generally estimated value and the deduction ratio is different by the analyzed method, the thrust on bollard pull condition ought to be estimated carefully.

*: The thrust deduction ratio is not the thrust deduction factor which is defined on advanced ship. It is the deductive rate of the actual thrust from the designed thrust at advanced coefficient of zero.

1. はじめに

一般商船では、推力計により機関の性能を知る必要性が少ないため、それを備えることはまれである。

神戸商船大学附属練習船深江丸（以下、本船という。）に推力計を搭載したので、これを検証することも兼ね、係留けん引試験をおこなった。

試験は、プロペラ回転数を一定とし、スキュー型プロペラ翼角を変化させる要領でおこなった。このときの測定結果を用い、実船で前進率0におけるトルク係数およびスラスト係数を算出した。これらの係数を、模型プロペラの水槽試験およびシリーズプロペラタテストそれぞれによる単独性能図から求めた係数と比較検討した。

さらに、実船の推力予測の参考に供するため、模型プロペラの水槽試験による単独性能図を用いて、実船の推力減少率*を求めた。

*：ここでは、船体が前進しているときの推力減少割合を定義にもとずき推力減少係数(t)といい、船体が静止している状

態で計画推力から実推力を差引いた推力減少の割合を推力減少率という。(1- t)を推力減少率といっている場合もあり混同を避けたい。

2. 試験要領と計測結果

本船は1987年10月三井造船（株）玉野事業所で建造された。主要目を表1に示した。

係留けん引試験は、海上公試運転にさきがけて、同年9月16日事業所内で実施された。

実施要領を図1に示した。

補強した本船舶尾側ビットと岸壁ビットを約60mのワイヤロープで係留し、船首側は両舷に各175m繰出されたアンカーチェーンを振止めとした。左右の舷側は岸壁などより50m以上離れた。

プロペラが発生した推力は推力軸受に設けた推力計により計測するとともに、船尾側のワイヤロープに取付けたストレインゲージ式ロードセルにより張力を計測した。ワイヤロープの岸壁における仰角は7°であった。

実施状況を表2に示した。

実施場所は周囲を小島やドック岸壁に囲まれた海域であり、潮流の影響もほとんどなく、海象は連程度の静か

*原稿受付 平成1年8月14日

平成元年春期学術講演（平成1年5月17日）

**正会員 神戸商船大学（神戸市東灘区江南町5-1-1）

表1 深江丸主要目

船体部	
垂線間長	45.000m
型 幅	10.000m
型深さ	6.100m
吃 水	3.200m
方形係数Cb	0.5302
柱形係数Cp	0.6210
中央横断面係数Cm	0.8538
浸水面積 (副次物含)	504.80 m ²
総トン数	449.00 t
排水量	784.00 t
試運転最大速力	14.28 kt
機関部	
主機関	4サイクルディーゼル 機関
定格出力	1,100 kW
定格回転数	720 rpm
減速機減速比	2.208
推進器	4翼可変ピッチプロペラ
直 径	2,100 mm
基準ピッチ (0.7R)	1,792 mm
基準ピッチ比 (0.7R)	0.8533
展開面積比	0.640
ボス比	0.276
翼断面形状	M.A.U.
回転方向	左
材 質	KA1Bc3

図1 Bollard pull test 実施容量

表2 Bollard pull test 実施状況

施行年月日	: 昭和62年 9月16日
天 候	: b c
海 象	: Smooth (速程度), 潮流なし
海水温度	: 22℃
平均水深	: 8.9 m

表3 Bollard pull test 計測結果

吃 水: 3.05 m (even), プロペラ没水深度: 0.55 m, 静止時張力計示度: 機関始動前11.77 kN {1.2tf}, 停止後15.69 kN, プロペラ回転数: 326.1 rpm, ワイヤ・ロープ 仰角: 7°					
負 荷	始動	1/4	1/2	80%	4/4
平均風速 (m/s)	2.5	3.0	3.2	3.2	2.0
相対風向 (°)	285	295	315	225	255
風の影響 (kN)	+0.06	+0.21	+0.50	-0.29	0
CPP 翼角 (°)	0	5.5	10.3	13.7	15.5
CRT 翼角示度 (°)	0	5.6	10.4	13.8	15.6
張力計示度* (kN)	16.67	35.79	93.65	134.34	154.93
" {tf}	1.7	3.65	9.55	13.8	15.9
スラスト計示度 (kN)	7.84	22.55	80.41	123.56	147.09
軸馬力 (kW)	265	324	592	935	1,126
燃料消費 平均 (mm)	12.8	13.7	17.8	23.7	27.5

* : ロープ仰角を修正後の張力

な状況 (Calm) であった。

張力計測用センサのロードセルについては、測定範囲内での誤差が0.5%以内であることを確認した。

実施にあたって、メーカーよりシリーズプロペラテストからの単独性能を用いて予測推力が推定された。その値は、試験時設定条件と同じ条件で、最大出力約1,100 kW {1,500 PS} のとき、約137 kN {14ton f} で¹⁾、軸受荷重の許容値176 kN の約80%とされた。

計測開始から約2分後にアンカーチェーンを延ばし、安定した係船状態となったことを確認して機関を始動した。

機関始動前の張力計指度は約11.8 kN {1.2ton f} であった。軸回転数326.1 rpm、プロペラ翼角0°のときの張力は16.6 kN {1.7ton f} で安定した。

軸回転数をそのまま一定に保ち、プロペラ翼角を前進5.5° (1/4 負荷)、10.3° (1/2 負荷)、13.7° (80% 負

図2 深江丸係留牽引力記録
(軸回転数 326.1 rpm 一定)

荷)および15.5' (4/4 負荷)に順次上昇させ、それぞれ計測をおこなった。図2はそのときの張力をペンレコーダに記録し、結果をのちに重ね合わせて作成した図である。試験は同じ要領で2回実施し、計算には計測値の平均を用いた。機関を停止したときの張力は、開始前と終了後の平均で13.72 kN {1.4 ton f} となり、各負荷における張力よりこれを差引いた。表3に計測結果を示した。

風の影響に対する修正は、上部構造物模型風洞試験結果から求めた係数によりおこなった。表中、(+)は張力に加える場合を、また、(-)は減ずることを示している。

3. 推力減少率の検討

3.1 係数の比較と推力減少率 プロペラの単独性能として、模型プロペラの水槽試験による結果、あるいは造船所から提出された自航要素に基づいて修正したシリーズプロペラテストにより結果を一般に用いる。

ここでは係留けん引試験において実測された推力をもとに、本船CPPに対する上記2つの単独性能図を比較・検討したのち、本船の係留けん引時の推力減少率を求め、検討を加える。

図3は、前述の2つの単独性能図より求めた前進率0におけるプロペラ翼角に対するトルクおよびスラスト各係数の関係曲線である。図中、実線は模型プロペラにより単独性能から求めた曲線で、破線はシリーズプロペラテストによるそれから求めた曲線である。表4に実船のトルクおよびスラストならびに各々の係数を示した。

プロペラの出力は本船設計値の伝達係数0.96を軸出力に乘じた値を用いた。張力と推力の実測値は翼角0°のときを除いて平均2%程度の差であるため、推力計はほぼ正確な値を示すことが立証された。

実船のトルク係数を図3上に■印で示した。翼角の大きいところでは模型プロペラの単独性能による値よりもそれは低くなっている。一般に実船修正を考慮すると実際のトルク係数は模型プロペラのそれよりも低い値を示すといわれ、模型プロペラの水槽試験による単独性能図は実船の試験に対して、満足する結果を与えているといえる。

つぎに、模型プロペラの単独性能とシリーズプロペラテストによる各単独性能より、各翼角に対するスラスト係数を求め、それぞれ推定推力を算出した。これらと実船の推力の計測値をまとめたものが表5である。図3上に△印で示したものは実船のスラスト係数である。

さて、推力減少率を検討するにあたって、ここでは模

図3 前進率(J)=0に対するトルク(Kq)およびスラスト係数(Kt)

表4 実船のトルクおよびスラストならびに各係数

翼角	出力(kW)	トルク(kN・m)	トルク係数 ^{*1}	張力 ^{*2}	スラスト(kN)	スラスト係数 ^{*3}
0°	220	6.45	0.0052	3.20	7.90	0.013
5.5°	280	8.18	0.0066	22.27	22.76	0.038
10.3°	548	16.05	0.0129	80.42	80.91	0.137
13.7°	891	26.06	0.0211	120.32	123.27	0.209
15.5°	1082	31.67	0.0256	141.21	147.09	0.250

^{*1} トルク係数(Kq)=トルク(Q)/11.67・回転数(n)².
^{*2} ロープ張力(静止時張力平均値13.73kNを差引く)風力修正済.
^{*3} スラスト係数(Kt)=0.1806・スラスト(T)/n²

表5 スラスト係数(Kt)およびスラスト(TkN)の比較

翼角	シリーズテスト		モデルプロペラテスト		ボートテスト	
	Kt	T	Kt	T	Kt	T
0°	0.004	2.35	—	—	0.013	7.90
5.5°	0.065	38.27	—	—	0.038	22.76
10.3°	0.145	85.39	0.163	95.99	0.137	80.91
13.7°	0.205	120.63	0.240	141.33	0.209	123.27
15.5°	0.240	141.33	0.285	167.83	0.250	147.09

型プロペラの水槽試験を基準にとって考えたい。

いま、出力に対する実際の張力と予測曳航力を示した図4を見ると、実際の曳航力が数%大きくなっている。

このように、張力がわずかに低く見積られた原因は次のような理由による。

係留けん引時表5のスラスト係数を比較すると、実船のそれがシリーズプロペラテストのものよりわずかに

大きいものの、両者はほぼ一致している(図3 参照)。メーカーの予測推力の値は、このシリーズプロペラから求めた推力に係数0.95(一般に係留けん引時においても推力が減少するとされ²⁾、推力減少係数を0.05とした)を乗じたため予想曳航力が減少したものと考えられる。

さて、二軸ひじ材使用の曳船のけん引実験³⁾では、単独性能より求めた推力減少率が0.06であったとしてい

図4 深江丸軸出力-静止曳航力曲線

る。したがって、本実験結果からも明らかとなり、模型プロペラを基準として取扱うとき、単独性能図のスラスト係数は大きくなるため、推力減少率は当然大きくなる。本船の実験結果により、張力および推力の平均値から推力減少率を計算すると表6に示したとおりとなり、平均値は0.146となった。この値は推力減少率としてはかなり大きい。しかも二軸船に比較して大きくなることがわかった。

なお、図3※印の実船のスラスト係数が低いのは、低ピッチ角でしかも係留状態のため複雑な水流の影響かも知れない。

3.2 一般的な定義上の推力減少係数 模型プロペラの水槽試験とシリーズプロペラテストによるそれぞれの単独性能から求めたスラスト係数が異なることに着目して、計画推力と実際の推力の間の減少率の程度を

図5 ロードセル式推力計とアモルファス式推力計計測値の比較

検討することが今回の目的であった。このため、推力計の精度を立証するにあたって、張力と実推力の差の平均が精度上の誤差（計器の精度1.0%および読み取り誤差1.0%の合計2.0%）の範囲内にあることではほぼ正確であるとした。

しかしながら、船体が静止した状態においても推力の減少があることが認められているので、これに対してもふれておきたい。

ロードセル式の推力計の指度に妥当性を見出すために、他に搭載したアモルファス式推力計**と比較した結果が図5である。図で見るとおり指示値に極端な相違は見出せない。そこで、いま推力計が全く正しい値を示すとする。

いま、航行中の船体が無限に船速を低下させたとして定義された推力減少係数を求めるとすれば、表6の()内数値がそれにあたる。これをみると、負荷の低いところではその値は小さいが、4/4負荷では4.0%程度の値を示す。したがって、スキュー型一軸CPPの静止曳航時の推力減少係数として参考となりそうな値を示している。

表6 模型プロペラテストによる
推定推力減少率

翼角	模型プロペラ 推定推力	張力(上段) 実推力(下段)	推定推力減少率
10.3°	95.99 kN	80.42 kN 80.91 (0.006)	0.162 0.157
13.7°	141.33	120.32 123.27 (0.024)	0.148 0.125
15.5°	167.83	141.21 147.09 (0.040)	0.158 0.123

表中 () 内数値は { (実推力 - 張力) / 実推力 }

4. まとめ

係留けん引時のスキュー型 CPP 一軸船の推力減少率が、模型プロペラの単独性能より推定されたとき、かなり大きくなることがわかった。定義上ここでいう減少率とは異なるのではあるが、二軸船の推力減少係数においても、プロペラ軸支持がひじ材使用のときとボッシングによる場合では後者のときが大きくなっている⁴⁾。係留状態は船速を極限まで遅くしたものと考えれば、一軸船でしかも小型船を除きボッシング支持の一般商船では、推力減少率が大きくなることは予測できる。

近年、自航要素によって修正を加えたプロペラシリーズテストによる単独性能図を用いることについて、スキュー型プロペラを採用した場合などに精度向上のための計算法の確立の必要性が指摘されている⁵⁾。一方、模型プロペラの精度も現状では充分であるとはいえない⁶⁾との意見もあり、いずれにしてもできる限りデータを採取し確かな係数を見出しおく必要がある。

ここでは、前進率 0 における単独性能図は、模型プロペラの水槽試験によるものが信頼性が高いとして取扱った。このときには計画推力からの減少率は 0.13~0.15 とかなり大きくなるようである。

ただし、模型プロペラの試験を一般の商船に実施されることは少なく、シリーズプロペラテストによる単独性能図を用いることが多い。後者を用いて推力を推定するときには、係数を乗ずると実推力より低い推力を予測することも起りうる。

したがって、係留運転時に軸受荷重の許容値を適確に把握し、さらに用いた単独性能図により適切な係数を選択することによって正常な係留状態を保持することが可能となる。

最後に本試験を実施するにあたり協力を得た三造試験センター（株）殿およびかもめプロペラ（株）技術部殿に謝意を表します。

文 献

- 1) 中井, 舶機誌, 23-11 (昭63-11), 689.
- 2) 横尾・矢崎, プロペラ設計法と参考図集, (昭51-7), 28, 成山堂.
- 3) 西島ほか2名, 関西造船協会誌, No. 100 (昭35-12), 27.
- 4) 山縣, 船型学推進篇, (昭27-9), 184, 天然社.
- 5) 渡辺・谷林, 船型開発と試験水槽, (昭58-2), 114, 日本造船学会編試験水槽委員会第1部会シンポジウム資料.
- 6) 森, 同上, 215.