

変わろうとする海技研の曳航水槽 —GHG 削減に向けて—

佐々木 紀幸*

A New Task of NMRI Towing Tanks (toward reduction of GHG)

by

Noriyuki SASAKI

1. はじめに

海上技術安全研究所(海技研)は、国内最大の特徴ある数々の水槽設備を所有するが、ここでは、巨大タンカーや超高速船の試験にも対応可能な世界最大級の400m曳航水槽と少し規模は小さいが浅水影響などを調査できる特徴ある中水槽の2つの設備を紹介する。これらの水槽の建設は昭和41年にまで遡り、何度か大規模な改修工事を経て現在に至っている。また最近では、地球環境保全のための温室効果ガス(GHG)削減が叫ばれているが、これらの水槽もGHG削減のためにより効果的な利用方法が期待されており、その用途も変化しようとしている。

建設当時のこれら曳航水槽の目的は、文字通り船を曳航することにより設計された船が期待通りの性能を示しているかどうかを総量(力のレベル)で評価することに主眼が置かれていた。一方、造船技術において世界をリードしてきた日本の造船界も平成の時代に入り韓国に続いて中国などの造船新興国のキャッチアップが目立つようになり、CFDなどのソフ

ト面の充実はもちろんのことハードも含めた戦略の見直しを強く求められるようになってきている。これからご紹介する2つの曳航水槽は、技術立国日本が再び世界を大きくリードするため、今またその姿を大きく変えようとしている。

2. 400m 曳航水槽と中水槽

400m 曳航水槽(正しくは三鷹第2水槽と呼ぶ)は、世界トップレベルの規模と性能をもち、もちろん国内では最大かつ、その規模の水槽としては最速の曳航水槽である。その仕様を表1に示した。

中水槽は、コンパクトで小回りの利く水槽であるとともに、水位を大きく変更できるため浅水域での水槽試験などが可能な特徴ある水槽である。表2にその仕様を示す。

* 流体部門

原稿受付 平成21年 7月14日

審査済 平成21年 8月26日

表 1 400m 曳航水槽基本仕様

水槽	長さ 400m、幅 18m、水深 8m
曳引車	最高速度 15m/秒 デジタル・アナログ制御 DCM210kW×4 台
造波装置	プランジヤー式 波長 0.5m～15.0m 最大波高 0.3m 110kW×4台、不規則波発生可能 集中波(最大波高 0.7m)発生可能
自航動力計	スラスト25kg、トルク1km・m スラスト 12kg、トルク 0.5kg・m
伴流計測装置	積載型トラバースー (40cm×40cm) による計測
その他装置	特殊曳航装置、変動抵抗動力計 トリム計付ガイド装置 模型船クランプ、自航モータ



図 1 400m 曳航水槽

表 2 中水槽基本仕様

水槽	長さ 150m、幅 7.5m、水深 0～3.5m
曳引車	最高速度 6m/秒 デジタル・アナログ制御 DCM30kW×4 台
造波装置	プランジヤー式 波長 0.8m～10.0m 最大波高 0.3m(波長5mの時) 15kW×1 台、ITTC・ISSC・ JONSWAP各種不規則波発生可 能
自航動力計	400m水槽に同じ
伴流計測装置	400m水槽に同じ
その他装置	400m水槽に同じ

3. 従来の水槽試験

400m 曳航水槽や中水槽で実施される試験を一般に水槽試験と呼び、従来からごく標準的に実施されてきた次のような水槽試験がある。これらの試験は、現在も頻繁に実施され、今後も実施されていくこと

になるが、後で述べる新しい水槽試験を追加していくためにより効率的な試験方法に変わりつつある。

3. 1 抵抗・自航試験

400m 曳航水槽や中水槽において最も頻度の高い試験であり、実船の抵抗や推進性能を予測するために実船と相似な模型船を用いて実施される。模型船は標準的な長さを 6m 程度と定めているため、実船との寸法比は実船の長さによって異なってくる。例えば、300m を越える大型のコンテナ船の場合は、その比率は 50 分の 1 以下となる。一方、実船に対する抵抗の推定精度は 1 %以内を求められるため、他の大型建造物には見られない精緻な推定法が用いられている。その代表的な方法に国内の造船所の多くが用いている 3 次元外挿法と呼ばれる抵抗試験解析法がある。これは、水槽試験で計測される模型船の抵抗 $R(kg)$ を次式で表している。

$$R(kg) = (1 + K) \times R_F + R_W \quad (1)$$

ここで、 R_F は平板摩擦抵抗、 R_W は造波抵抗である。 K は形状影響係数と呼ばれ船体が平板と異なり湾曲しているために生じる抵抗を表現している。3 次元外挿法は、(1)式が基本的に模型船と実船の両方で成立すると仮定するものである。

肥大船の代表であるタンカー船型と高速船の代表であるコンテナ船を比較すると、たとえば 300m を超える大型タンカー船型の場合は摩擦抵抗が 70%程度となり、形状影響が 20%程度を占める。残りの 10%程度が造波抵抗である。一方、中型のコンテナ船では造波抵抗は全体の 30%程度となりタンカー船型の 3 倍にもなる。

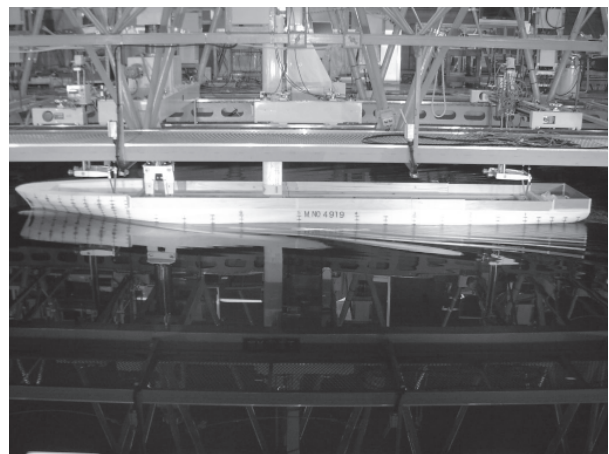


図 2 400m 曳航水槽での抵抗・自航試験

自航試験は、船の推進性能を調査する試験である。一般には、ストックプロペラと呼ばれる実船に装備されるスクリュープロペラに近い形状の模型プロペラを用いて実施され、現象に即した解析方法が用いられる。ここで、推進効率 η は、一般に(2)式で表される。

$$\eta = \frac{(1-t)}{(1-w)} \eta_o \times \eta_R \quad (2)$$

ここで、 t を推力減少率、 w を伴流率と呼び、 η_R は、プロペラと舵を含む船体との干渉を表している。 t は、プロペラが推力を発生することで船体や舵の周りの流れが変わり、推力を発生しない時に比べ抵抗が増加する割合を示している。また、 $1-w$ は、プロペラ位置における平均流速を船速で除した数値であるが、船尾の流れは複雑であることから、プロペラを流速計とみなして、プロペラ単独特性から求める。(2)式から分かるように推進効率は、プロペラが船体抵抗をあまり増加させず(t が小さく)、かつ船体の後ろの遅い流れ(w が大きい)の中で回っているのが良い。船の場合、水の粘性によって船尾の流れはかなり遅くなる。例えば、先に示したタンカーの場合の船尾付近では、船速の 50%~60% となることが多い。この時、船首でプロペラを回す場合と比べて実に 2 倍近い効率向上になることが分かる。これは、空気のような粘性が小さい流体の中で推進器を回す場合と決定的に違うことを意味している。

η_o は、プロペラ効率である。プロペラ効率の定義は次式である。

$$\eta_o = \frac{T \times V_A}{DHP} \quad (3)$$

T はプロペラが発生する推力、 V_A はプロペラの前進速度であり、プロペラの周囲の平均流速である。 DHP は伝達馬力と呼ばれ、プロペラに与えられた馬力であるから、プロペラ効率は、プロペラに与えられた回転エネルギーに対してプロペラが前進方向に出しうるエネルギーの比率を現していることが分かる。ここで注意しなくてはならないのは、プロペラはその周りの流れ次第で効率が変わるという点である。したがって、全く同じプロペラをタンカーとコンテナに装備して、その効率を比較するとコンテナ船に装備したプロペラの効率が圧倒的に良くなる。それは、コンテナ船の船尾では、タンカーほど遅い流れが生じないため、例え、同じ馬力で同じ推力を出していても、プロペラの前進速度が速くなり、そのためにプロペラ効率が高くなるからである。プロペラ効率が高いことが必ずしも良いプロペラという

わけではない。作動条件がプロペラ効率を支配していることに気がつく必要がある。

従来からの水槽試験には、ここで紹介した抵抗・自航試験のほかプロペラ単独試験や伴流計測などがあり、これらの試験をより効率的に行うため、次に述べるルーチン試験のためのモニタリングおよびデータ収録システムを導入した。

3. 2 モニタリングおよびデータ収録システム

水槽試験は、研究的な色彩の濃い試験と決まり切った手順のルーチン試験とに分けることができるが、海技研では、ルーチン試験のためのシステム化を急ピッチで進めている。その目的は、①試験品質の向上、すなわち誰が試験をしても試験品質は一定以上を確保できること、②試験処理、解析処理の煩雑さからの開放、③水槽試験技術の継承性への配慮の三つである。従来、海技研は国の研究機関であったことから、研究者個々人の研究のための水槽と位置づけられてきたこともあり、先に述べたルーチン試験の効率化が遅れていたことは否めない。そのため、新しい技術開発にもその悪影響が出ていたと判断し、ルーチン試験の効率化を急ピッチで進めている。ここで言うルーチン試験とは、抵抗試験、自航試験、プロペラ単独試験、伴流計測、波浪中抵抗増加試験の 5 種類の試験である。ハードウェアとしては、業界水準であるリアルタイム OS 搭載の NI 社製 PXI を採用し、計測ソフトとしては、LabVIEW を採用した。抵抗試験の時系列 DATA の一例を図 3 に示した。図 3 は 3 速度における抵抗(朱色)、対水流速(白色)、船首沈下量(緑色)、船尾沈下量(水色)である。船首尾の沈下量が定常になったところで抵抗の平均値を計測する。

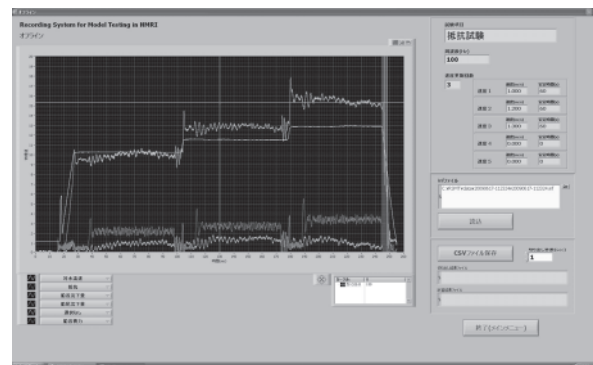


図 3 400m 曳航水槽のモニタリングシステム

1st Analysis Result of Resistance Test				
Vg/Vw= 1.0096				
	Mean	Precision	Precision Averaged Value	
V_ground =	2.2451 (m/s)	5.5514E+00	3.9254E-01	
V_water =	2.2236 (m/s)	2.3896E+00	1.6897E-01	
Sinkage_Aft =	10.3 (mm)	5.8509E+01	4.1372E+00	
Sinkage_Fore =	0.8813 (mm)	5.1818E+01	3.6641E+00	
RTm =	12.974 (kG・F)	6.5861E+01	4.6571E+00	
SF_Aft =	-0.0711 (kG・F)	3.5376E+00	2.5015E-01	
SF_Fore =	-0.1757 (kG・F)	3.5443E+00	2.5062E-01	
Vm =	2.2283 (m/s)			
Vs =	9.8399 (m/s)			
Vk =	19.13 (knot)			
Fn =	0.2228			
Rnm =	2.1660E+07			
Rns =	5.5024E+08			
Ctm =	3.7692E-03			
Cfm =	2.5957E-03			

図 4 新しいデータ収録システムによる解析データの例

4. 新しい水槽試験

4. 1 高効率推進装置

CFD の援用などにより、船体形状の最適化はほぼルーチン的に実施されるようになった。また従来からあるスクリュープロペラの効率改善も 1970 年代に実用的な理論計算法が開発され大きく前進した。2000 年代に入るとポッド推進器などの従来にない形式の推進器が出現した。ポッド推進器は、従来の主機直結型の推進システムと異なり電気推進を前提とした全く新しい概念の推進システムであり、船の基本計画までドラスティックに変えうる革新的な推進システムであるが、性能解析技術を含め、まだまだ十分に周辺技術が確立されているとは言えない段階にある。

一方で、急務である GHG 削減への要求に対応して、二重反転プロペラや二重反転プロペラとポッド推進器(図 5)と組み合わせたハイブリッド型二重反転プロペラ(図 6)の研究が飛躍的に増加している事実があり、海技研では、このような新しいニーズに対応して、これらの新しい推進システムの試験技術、解析技術をより進化させ、お客様の期待にえている。



図 5 ポッド推進器模型

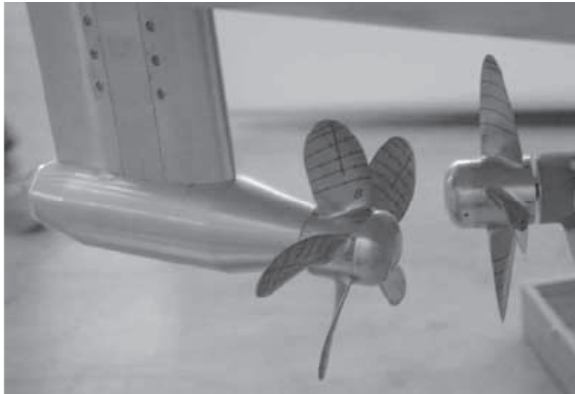


図 6 ハイブリッド二重反転プロペラ模型

4. 2 ハイブリッドなテンモード試験

400m 曳航水槽では、通常の平水面だけでなく実際の海で生じる波も再現できる。したがって、実海域での性能をより正確に求めるための種々の試験方法や計算法が検討されている。例えば、海の 10 モードと呼ぶ実燃費性能のシミュレーション方法は、自動車の 10・15 モード燃費が市街地の燃費指標を与えるのに対して、船も個船ごとに実際の波や風が生じる実際の海域での燃費を求めることができるようにと考案されたスキームである。図 7 は、その「海の 10 モード」で用いられる指標計算の全体フローを示す。

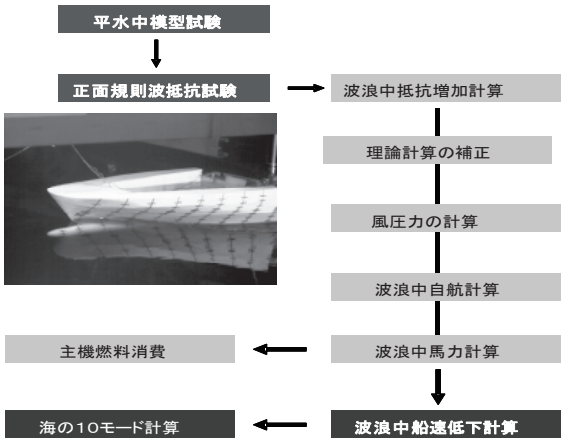


図 7 海の 10 モード指標計算フロー

4. 3 高精度塗膜抵抗試験

船の抵抗の大半を占める摩擦抵抗を軽減する試みは古くから実施されているが、最近では塗料による抵抗低減にも関心が寄せられている。しかしながら塗料による抵抗低減量は、場合によっては 1 % 程度と小さいため、その計測法によっては精度が確保できないのが従来であった。海技研では、そのような高精度の抵抗計測精度のニーズに応え

るため、図8に示す2枚の平板の抵抗を比較する方式での高精度摩擦抵抗計測システムを開発した。

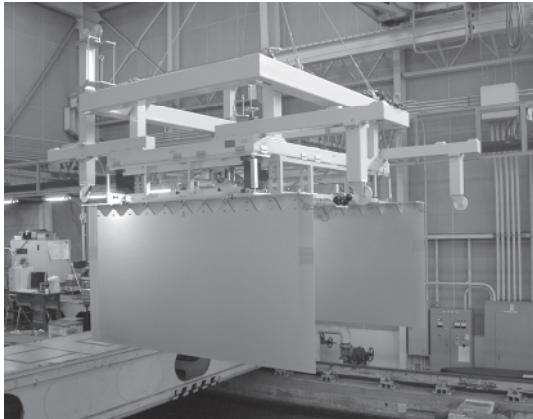


図8 摩擦抵抗計測システム

4.4 浅水試験(中水槽)

船の流体力学的性能は、船底が海底に近づくときに変化が見られるようになる。これを浅水影響と呼び、船が河川や港湾で航行する場合などに、この影響が顕著になる。中水槽では、このような浅水影響を調査する目的で、水槽の水位を極端に浅くすることができる。

図9に中水槽において実施された浅水域での自航試験の例を示す。

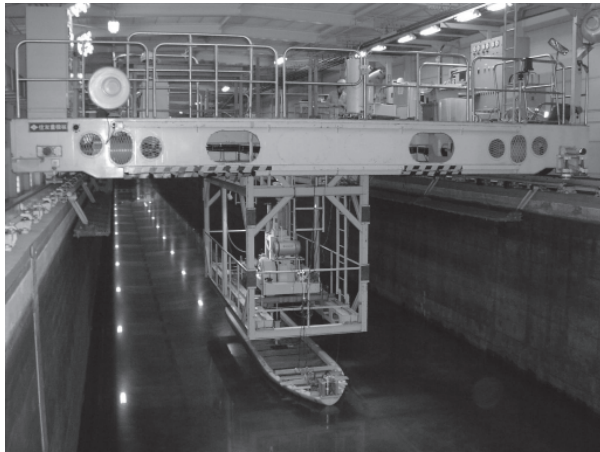


図9 浅水域での自航試験

4.5 新波形計測システム

船が平水中や波浪中を一定速度で前進する時に船が造る波は、船体に作用する造波抵抗や波浪中抵抗増加に直接関係するものである。そのために船型試験水槽では水槽側壁付近に波高計を設置した計測区間を設け、前進する模型船が作る波の計測と波形解析による波形抵抗の算定が行なわれている。400m水槽においても図10に示す計測システムを導入し、定常だけでなく非定常波形についても計測を行う。

さらに水槽壁側付近での波高計による計測と合わせて、レーザーシート光と高速カメラを用いた船側近傍の波形分布の面的計測装置を導入した。装置の写真と計測した画像の例を図10に、またレーザーシート光を使って波形を計測している様子を図11に示す。

船側波形は船体に近い場所での波の逆解析などに適した情報であり、船型の診断には、非常に重要な情報である。また、先に示した10モード試験と同時に計測することで新たな船型改良手法を確立するねらいがある。

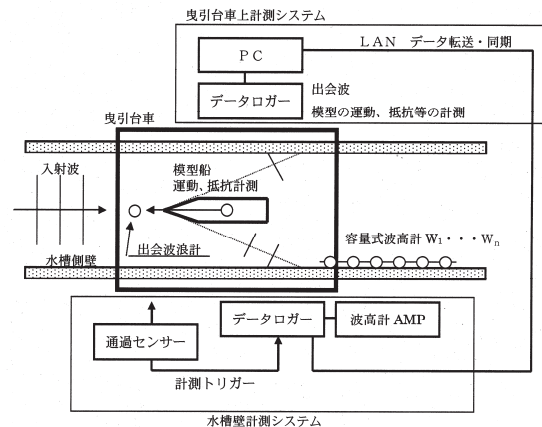


図10 波形計測システム

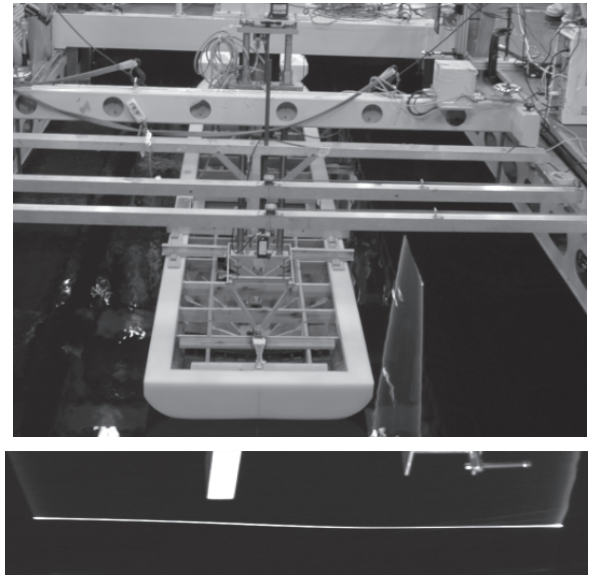


図11 レーザーシート光による波形計測

4.6 波浪衝撃圧計測システム

船首部における波浪衝撃は、そこでの亀裂の発生など、構造上の問題を引き起こすだけでなく、船の抵抗増加の主要な原因にもなっている。

一方、波浪による衝撃圧は、現象が複雑なこと

や計測の困難さから、これまでルーチン試験と位置付けるには無理があった。海技研では、このような現象を高精度に計測するシステムとして多点波浪衝撃計測システムを構築し、ユーザーの期待に答えるケースが増えている。

計測システムは、図 12 に示すように多数の圧力センサー(昭和測器 MPA-100KPA)を船体表面にフラッシュマウントして実施する多点同時圧力計測によるものと、図 13 のような衝撃的な波の挙動を高速カメラを用いて同時並行で調査する方法がある。図 14 は、波浪衝撃圧の記録例であるが、横軸は僅か 0.2 秒であるが、この間の現象が良く捉えられていることが分かる。

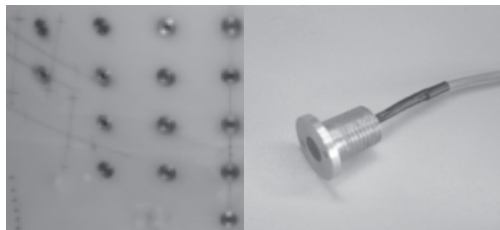


図 12 圧力センサー

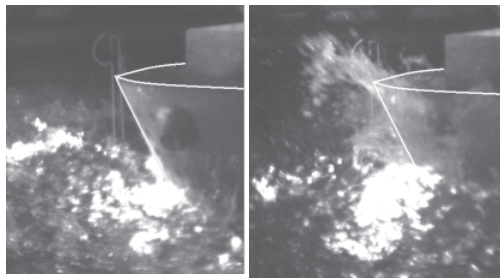


図 13 船首スラミング

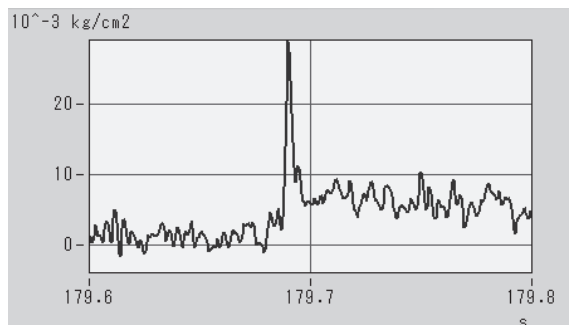


図 14 圧力センサーで得られた
波浪衝撃圧

5. おわりに

これまで、曳航水槽は、主として設計された船の平水中性能の最終確認の場として位置づけられてきた。しかしながら、風浪のある実海域の性能を含め、船型の良し悪しを詳細に分析するには、平水中の性能だけでなく、さらに詳細な情報が必要となることは言うまでもない。また、今後は、ポッド推進や空気潤滑などといった GHG 削減のための従来とは大きく異なる水槽試験も増加してくることが予想される。

海技研では、平水中での抵抗試験を出発点とし、平水での推進性能、推進器の単独効率、さらには波浪中の抵抗増加など、各段階ごとの詳細な分析が確実に実施できること、さらに、今後出てくるであろう、新規の技術に対応したハードとソフトの準備を急いでいる。海技研の大型設備として 400m 曳航水槽と中水槽を紹介したが、どちらも GHG 削減技術の高度化の舞台裏を支える重要な施設であり、今後ますます、その使用頻度が増えてくると予想している。

参考文献

- 1) 三鷹第2船舶試験水槽の建設について、昭和44年7月、船舶技術研究所報告第6巻4号