

1. 船舶研究と大型試験水槽

北川 弘光

Large Towing Tank and Ship Hydrodynamic Research

By

Hiromitsu KITAGAWA

Abstract

A growing demand for improvement in overall performance of ships have developed ship model basins and other research facilities. Since W. Froude conducted the first ship model testings at his towing tank at Torquay in England, the towing tank techniques have been spreading out in the world. The role and activities of the towing tank was reviewed with a particular reference to the large towing tank.

1. 試験水槽の発想と発展

船の航行性能を検討するために、小型の模型船を水面に浮かべて観察してみようとする思付きは、かなり古くからのようで、Leonardo da Vinci が船型の異なる3隻の模型船を用いて実験を行ったことが知られている。欧州ではda Vinci以降にも、運河や湖池での模型実験が行われはしたが、相似則についての程度の考察があったかは定かではない。少なくとも帆船の時代には、船の航行性能は船乗りの腕による所も少なくなく、優劣の検証が難しかったこともあり、性能の優劣や船型改良については、実航海での実績、経験の積み重ねからの判断に委ねられていたようである。

船が動力を得て航行する時代を迎えると、産業革命に伴う科学技術振興の機運に乗って、船の様々な性能の検討が技術課題として取り上げられるようになった。実船試験や模型実験が急増したのもこの時期である。流体力学的性能に関する模型実験は、ほぼ同時代に行われた弾性体に対するCauchyの実験などと異なり、現象の理解不足のため力学的な相似則の面から見ると誤ったものが多く、模型実験の有用性、妥当性を損なう結果となった。

正しい模型実験を実施するためには、実現象の十分な理解が必要である。力学的現象であれば、現象を支配する様々な力についての理解が必須となるが、ある程度の研究を経なければ、支配力についての理解を深めることは至難であるから、19世紀当時の模型実験に至らぬ所が多いのも当然のことである。また、現象把握が不十分の場合、現象の支配方程式を見いさなければ、支配力の種類が判明したとしても、正しいパイ数を導き出すことは容易でなく、船舶の流体力学的模型実験に係わるパイ数は、むしろ試行錯誤的経過を経て確立されてきた。

試験水槽における模型試験の基礎を築いたのは、William Froudeである。模型試験における相似則が不備で、かつ実船試験の難しさが認識されていない時代にあつて、模型試験のための試験施設の建設は、大方の賛意を得ることではなく、W. Froudeの科学的な知識、力量、情熱と誠実さがあつて初めて可能であつたと言える¹⁾。W. Froudeが水槽建設についての建議書を提出したのは1868年であり、1870年建設

の承認通知を受けて水槽施設の設計に着手、1871年台車の曳航開始、模型製作設備等が完成し本格的な実験を開始したのは1872年のことである。FroudeのTorquay水槽の主要寸法は、全長84.8m、中央平行部長さ50.3m、水槽幅は水面で10.98m、底面で1.83m、水深3.05m、現在の試験水槽から見ればやや風変わりな水槽である。当時W. Froudeの念頭にあつた模型寸法は長さ1.83mであり、この倍長の模型までの実験を考え、最高速度は3.05m/sであつたようである。

Lambの流体力学の初版は1879年刊行であるから、波動現象や粘性流体についての理解が急速に進みつつある時期にTorquay水槽が建設された訳である。W. Froudeの念頭にあつた模型寸法は当時としては、比較的大型と言え、水槽幅も水面幅のみではあるがかなり幅広であり、水槽試験についての周到な検討が伺われる。Torquay水槽は、1886年までの14年間使用された。

Torquay水槽の後、世界2番目の水槽は、Williamの息子R. E. Froudeの助言と協力の下に、1883年民間初のDenny造船所水槽としてDumbartonに建設された。水槽寸法は、長さ91.5m、幅6.81m、水深2.61mである。Dumbarton水槽の建設は、勿論Denny個人の卓見に基くものであるが、Torquay水槽でのW. Froudeの実験結果が評価され、試験水槽の効用が次第に認められつつあつた証でもある。

Torquay水槽でのW. Froudeの研究成果は、次第に当時世界の造船界で主導的地位にあつた英国造船界で広く認められるようになり、1887年には海軍Admiralty Experiment Works所属の本格的長水槽が建設された。これが船舶の流体性能の研究に多大の貢献をしたHasler水槽である。

2. 大型化の必要性和推移

Torquay水槽に始まった試験水槽の大型化は単純に進行した訳ではなく、試験水槽の効用が明確になると共に、大学、研究所、造船所など機関内での試験水槽の役割、位置づけなどの相異もあつて、歴年的には大型化よりは多様化の傾向が顕著に見られる。

船舶の大型化、高速化、造船工業の発展、周辺技術の急速な進歩、船に係る流体现象を解明し流場の

微細構造・特性を把握したいと言う要望、模型実験に伴う尺度影響から少しでも逃れたいとの思い、これらは試験水槽の大型化の原動力であった。一方、工学的な目的意識の明確化、採算性の考慮などは、水槽大型化に対する制動力として働き、結果的には中規模試験水槽が大多数を占める要因となっている。

特に経済力に恵まれた大企業や国立研究機関では大型化への制約、制動力は比較的弱く、理想設計には及ばないものの水槽寸法の制約によって生ずる様々な問題が検討された結果としての水槽設計が行われ、大型試験水槽が建設された。流体力学の理解・普及と共に、船の造波現象の観察や運河等での航行経験から水槽側壁や有限水深の影響は、水槽史の初期から知られていたようである。水槽が自走式の曳引台車を装備するようになると、曳航鋼索の制約から解放され水槽長さに対する基本的な制限が除かれると共に、高速域での模型試験の必要性と相まって、水槽は次第に増長されるようになった。また、水槽試験の効用が認識周知されるにしたがって、一般的な建造量の増加から設計部門の要望による試験業務の急速な増加に対処する必要からも水槽の増長が要望された。

他方、河川及び港湾の水理学的問題解決のため、小型水路、造波水路等の実験施設が建設され、実験法の検討研究が進められた。船舶用の試験水槽でも水理実験が行われ、両分野での情報技術の交流があり、水理学、流体力学の普及と共に、船体周りの流場の理解、模型試験法の改良も急速に進んだ。模型試験の目的は次第に多様化し、これに応える必要から、長水槽機能の多目的化が行われたが、やがてそれぞれの目的に適った専用試験施設、装置の考案、設計が進められるようになり、多目的長水槽建設の傾向は鈍化した。

Fig.1及び2に、1980年代までの世界及び日本における試験水槽保有数の変移を示す²⁾。

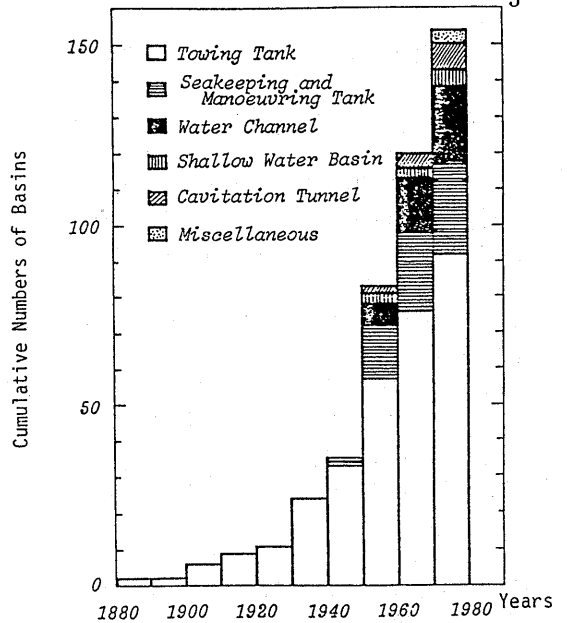


Fig.1 Cumulative Numbers of Ship Model Basins in the World

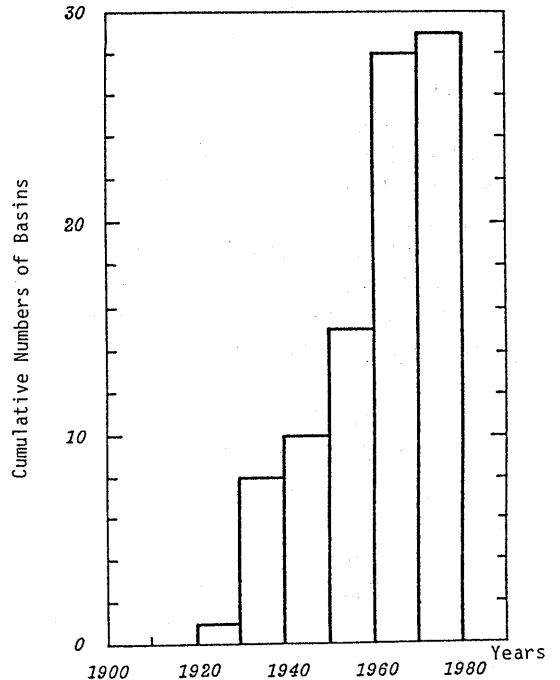


Fig.2 Cumulative Numbers of Ship Model Basins in Japan

3. 三鷹第2船舶試験水槽(400m水槽)の建設

三鷹第2船舶試験水槽の計画の萌芽は、昭和34年頃のものである。造船界での建造船舶は次第に大型化しつつあり、建造量も増加の一途をたどり、当時の目白の水槽施設では、馬力推定を主とする業界への即効的なデータ提供に追われ、研究的、基礎的な課題の検討が難しくなっていた。このため、単なる夢物語から現実的なものまで、折に触れて新たな実験施設の要望が議論されていた。

新大型水槽の計画が具体的なものとして公表されたのは、昭和37年8月である。この時作成された『大型高性能試験水槽の建設計画』は、幸い予算の成立を見て、昭和38年4月三鷹地区での建設が着手された。

試験水槽の主要目は、高レイノルズ数流れ、波浪中の追波実験、操縦性能試験、各種高速型船舶及び没水体の試験など将来の研究計画を吟味して検討が行われて、予算的な面も勘案の上、下記のように決定した。

長さ	400m
幅	18m
水深	8m
曳引車速度	15m/s(max.)

昭和41年秋東京で開催が予定されていた、第11回国際試験水槽会議(International Towing Tank Conference)の機会を利用して、世界有数の大水槽の完成を披露し、造船日本の名を一段と高めたいとの考えから、平水中及び波浪中の基本的性能研究を実施し得る基本設備、即ち曳引車、工場設備、計測及び解析装置等の整備を第1次整備としてその完成を急いだ。

当時第2次整備計画として挙げられていたものは

- (1) 滑走型船舶、水中翼船等の研究設備
- (2) Water Jet関係研究設備
- (3) 没水型船舶の試験装置
- (4) 線図、模型削成の数値制御システム
- (5) 実船試験用設備、装置

があったが、その後の上記第2次整備計画の達成度は低い^{3), 4)}。

4. 大型試験水槽の問題点

縮尺影響を緩和し得る大型模型船を常用し得る大型試験水槽は、小型水槽に比較して多くの長所、利点を有することは確かである。しかし、大型水槽の利点は、しばしば、理想状態を前提として論じられ、広い水面、多量の水量に起因する水槽の理想状態からのずれが見逃されている。

水槽試験においては、極く特殊な場合を除き、水槽水は個々の試験開始前には静止の状態にあることを想定している。しかし、水槽内の水は、最初の試験前においても、水槽深さ方向の温度変化、水槽長さ及び幅方向の熱的条件の差異、風、風等に起因する静振などによって、必ずしも静止状態にない。更に模型船の航走が繰り返されれば、水槽内には、残流や静振が生じ、水槽内の空間的及び時間的変化のある複雑な微弱流れ、擾乱の中での模型船の航走となる。この擾乱の減衰時間は、水槽代表寸法の2～3乗に比例するから、一旦いずれかの原因で生じた擾乱は大水槽ほど減衰せず、しかも水槽内の残流はより複雑である⁵⁾。

水槽内に残流が存在しても、それが1次元、即ち水槽長手方向に一樣な流れであれば、水槽が有限であることによって生ずる水面傾斜の影響共々、流速及び水面勾配は計測可能であり、計測を実施し得ればこれらの影響は、除去修正が可能である。しかし、残流に場所的、時間的に複雑な変化があれば、これらを計測することは可能であっても、その影響を厳密に評価し、修正することは難しい。このため、大水槽においては、第一に水槽内の流れ、水面、温度等の場所的、時間的変化を的確に計測することが必須であり、第二に、擾乱ができる限り1次元で簡単になるような工夫と擾乱の効果的減衰を図る必要がある。これらは原理的に可能であっても、現実的な対応、処理は難しく、結果として実験精度を低下させる要因となる。大水槽では、小規模水槽に比較して、水槽水、実験法に対して最新の注意、観測、工夫において格段のものがあって始めて大水槽の利点、長所が活かされることを常に留意すべきである。

5. 結び

試験水槽の大型化は、W. Froude 以降の船舶の大型化、高性能化、高速化が根底にあつてのことであるが、近年、海上輸送貨物におけるエネルギー関連材料物資の占める比率が急増し、いわゆるスケール・メリットによる大型船舶の建造、就航が拍車を掛けたと言えよう。試験水槽大型化の是非は、大学、国立研究所、業界の機関の基本的設立意義区分によって変わり、試験の性質、目的によって左右されるが、船舶設計などの実用学的観点からは模型試験のコスト・パフォーマンスが重視される。

理想的には、研究試験における産官学内の有機的連係と分担、全体でのコスト・パフォーマンスが検討さるべきである。総論的には、この観点から国立研究所における大型試験施設、大型試験水槽の存在意義が問われるべきであろう。

参考文献

- 1) 吉岡勲：『ウィリアム・フルード伝』、ウィリアム・フルード伝出版刊行会、1985
- 2) Kitagawa, H. & Yamazaki, T. : Model basins and ship design, Proc. of Inter. Symposium on Practical Design in Shipbuilding, Tokyo, 1977
- 3) 推進性能部：三鷹第2船舶試験水槽の建設について、船舶技術研究所報告第6巻第4号、1969
- 4) 船舶技術研究所：大型高性能試験水槽の整備計画、所内資料、1964
- 5) 田崎亮、北川弘光、小山鴻一、岡本三千朗：試験水槽における残留流れについて、関西造船協会誌、第135号、1970