

操縦性能データベースの構築とその解析結果

原口 富博*、野中 晃二*、藤原 敏文*

Building a manoeuvring performance database and the analyses of the data
by

Tomihiro HARAGUCHI, Koji NONAKA, Toshifumi FUJIWARA

Abstract

The resolution A.751(18), interim standards for ship manoeuvrability, was adopted by the Assembly of International Maritime Organization(IMO) on 4th November, 1993. The standards are considered the interim for a period of 5 years from the date of their adoption by the Assembly. The interim means that the standards and the method of establishing that ships comply with the criteria should be reviewed in the light of new information and the results of experience with the present standards and on going research and developments. Therefore the data on manoeuvring test have been collected by Ministry of Transport in Japan and the manoeuvring performance database has been built and the data have been analyzed by Ship Research Institute. The results are shown as follows.

- (1) All ships comply with the criteria of turning ability.
- (2) Many ships do not comply with the criteria of second overshoot angle in 10° zigzag manoeuvr test and of first overshoot angle in 20° zigzag manoeuvr test for yaw checking and course keeping ability. Some of them have sisters and a few sister ships comply with the criteria. The differences of the sister ships are found to be the conditions of their drafts or trims.
- (3) One of the reasons why ships do not comply with the criterion of stopping ability is that there is a long interval between ordering astern and reversing propeller.

目次

1. 緒言	52
2. 操縦性暫定基準	52
3. 操縦性能データベースシステム	54
4. 操縦性能試験データとその解析結果	54
4.1 操縦性能試験データ	54
4.2 暫定基準との対比	56
5. 今後の課題	58
6. 結言	58
参考文献	58

* 運動性能部

原稿受付 平成9年11月7日

審査済 平成10年3月11日

1. 緒言

1978年3月のAmoco Cadiz号の漂流、座礁事故以来の多くの海難事故を背景に、国際海事機関（IMO）では船舶の操縦性能の重要性を認識し、人命安全、海洋環境保全の観点から航行の安全性をとらえ操縦性基準等の検討を行った。その結果、操舵装置の要件の改正や操船ブックレットの改正が行われた [1] [2]。1989年3月のExxon Valdez号の座礁事故を契機に、1990年のIMO第33回設計設備小委員会（DE）以降は本格的に操縦性基準が検討され、1993年11月のIMO第18回総会で船舶操縦性暫定基準（IMO決議A.751（18））が採択された。

この基準はその成立の経緯からわかるように、船舶の航行の安全と海洋汚染を防止するため船の操縦性能に一定の枠をはめ、極端に操縦性能が悪い船を排除することを目的としている。また、この基準は5年間の暫定となっており、この間に各国とも操縦性試験データを収集し基準の妥当性について検討を行うことになっている。このため我が国では、運輸省が造船会社49社の協力を得て操縦性試験データの収集を行っている

[3]。この収集されたデータはその性質上機密保持の必要があるため、国の機関で取り扱うことが最適である。このため船舶技術研究所で扱うこととなり、海上技術安全局安全基準課と取り扱いに関する取り決めを結んだ上で、これらのデータからなる操縦性能データベースの構築を行っている。さらに、このデータベースを用いて暫定基準の検討に必要な解析を進めている。ここでは総合報告として、操縦性能データベースに関する現状および解析結果について報告する。

2. 操縦性暫定基準

操縦性暫定基準の概要 [1] を Table1 に示す。この基準は、操縦性能が最も悪くなる満載状態で規定されており、1994年7月1日以降建造される100m以上の船舶、および全てのケミカルタンカーとガスキャリアに適用される。また操縦性暫定基準は、旋回性能、初期旋回性能、変針性能、針路安定性能、停止性能の5つの性能を指標として採用しており、それぞれに基準値を定めている。さらに、対象となる船舶がこの基準を満足していることを確認するために、海上試験として旋回試験、Z操縦試験および停止試験を行うことに

Table1 Interim Standards for Ship Manoeuvrability

(Application)

1. deep, unrestricted water
2. calm environment
3. full load, even keel condition
4. steady approach at the test speed

(Criteria)

Ability	Test	Criteria
Turning Ability	Turning Test	Advance < 4.5L, Tactical Diameter < 5.0L
Initial Turning Ability	10° /10° Zig-zag Test	Track Reach < 2.5L, By the time 10° deviation from the original heading is reached in 10° rudder angle.
Yaw Checking & Course Keeping Ability	Zig-zag Test	(1) 10° /10° zig-zag test ○ First overshoot angle • 10°, if L/V is less than 10 sec. • 20°, if L/V is 30 sec. or more. • (5+1/2(L/V)) degrees, if L/V is 10 sec. or more but less than 30 sec. ○ Second overshoot angle • values for the first overshoot angle be more than 15° (2) 20° /20° zig-zag test ○ First overshoot angle < 25°
Stopping Ability	Stopping Test	Track Reach < 15L

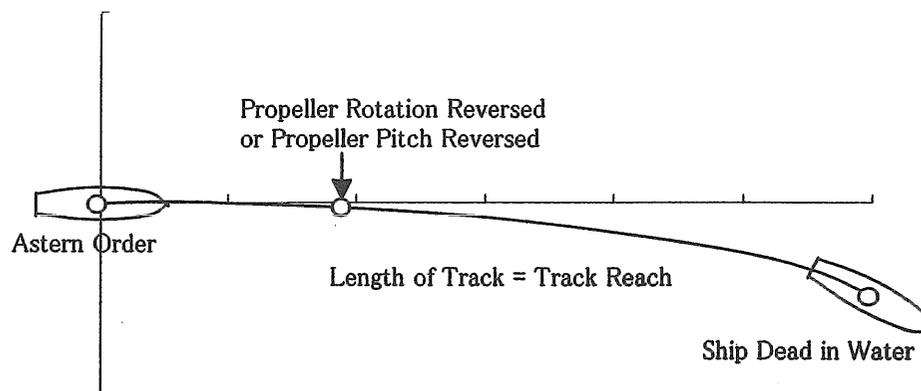
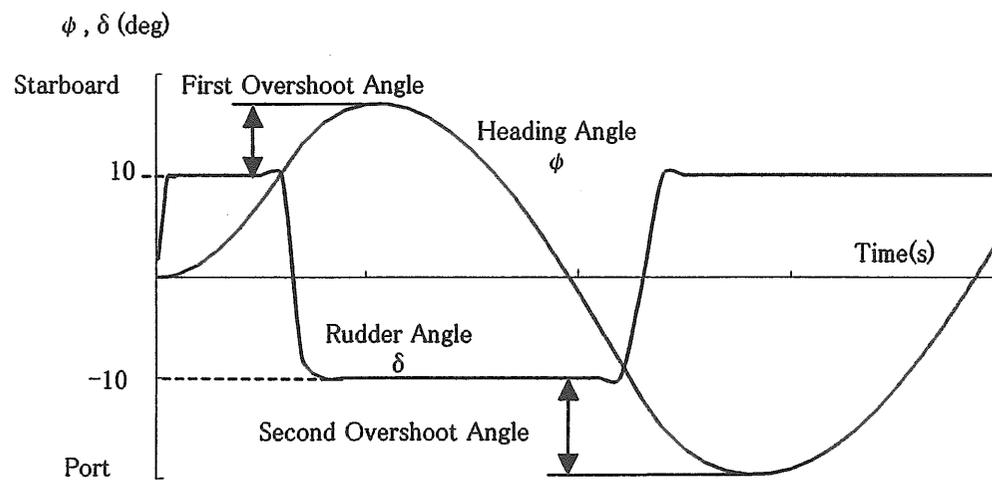
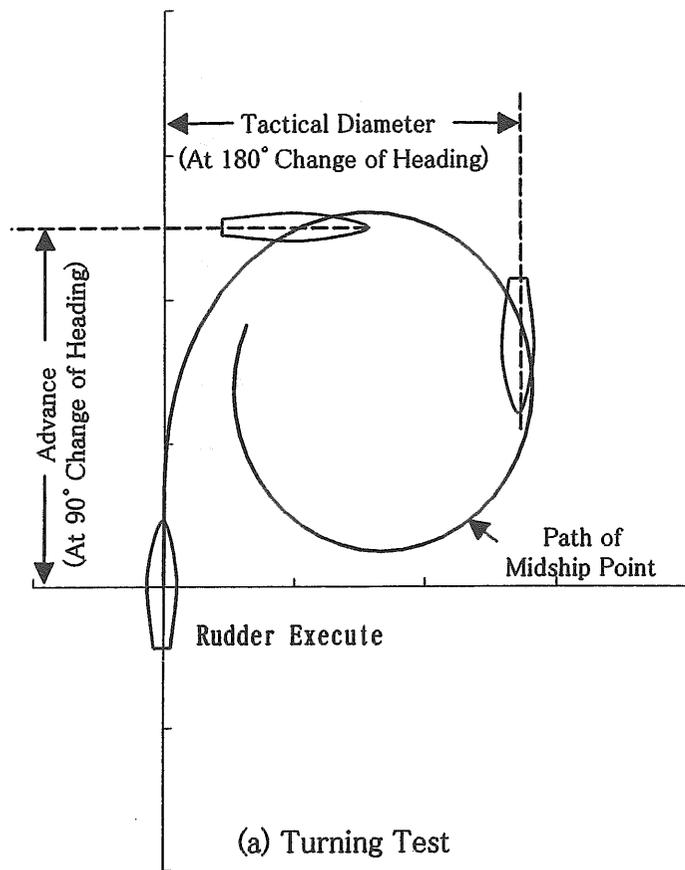


Fig.1 Definitions of criteria in Sea Trial

なっている。これらの性能と海上試験の関係もTable1に示してある。この海上試験で求める具体的な指標の定義をFig.1に示す。これらの海上試験を行う際の詳細は、付属する解説書に述べられている。なお、暫定基準はIMOの決議であるため強制力はない。

3. 操縦性能データベースシステム

暫定基準の課題を検討するため、Fig.2に示すようなデータベースシステムを構築した。システムはパソ

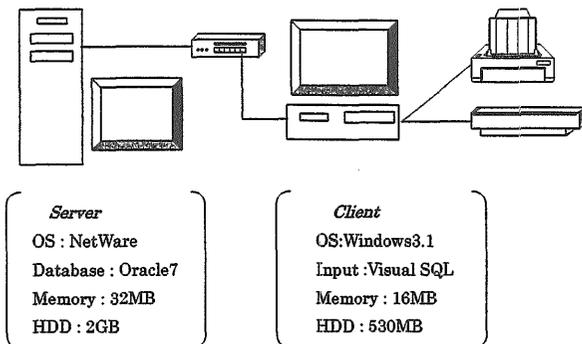


Fig.2 Database System

コン2台から構成され、この2台の計算機はネットワークを用いて接続している。収集されるデータの性質上機密性を要求されるため、システムとしてはいかなるネットワークにも接続せず単独のシステムになっている。また、データベースのソフトとしてはオラクルを使用している。このソフトは使用者にパスワードを設定できる上、オラクルへのアクセスの履歴を記録することも可能であることから、機密保持の観点からは最適なソフトと考えられる。

運輸省で収集されたデータは、そのフォーマットにそって船体主要目等に関するもの、旋回試験、Z操縦試験、停止試験に関するものの4つのテーブルに分けてデータベース上に記録される。

4. 操縦性能試験データとその解析結果

4.1 操縦性能試験データ

平成8年12月現在収集されたデータは、合計226隻(就航時船の航海計器を使用した計測による23隻、停止試験検討のためにのみ提供されたデータ53隻を含む)である。ここでは、1試験状態を1隻と数えている。操縦性能暫定基準と最近の船の性能との対応や問題点を考える上では、暫定基準が適用される船あるいはそれに近いものの方が望ましいので、当初、素性の明らかな比較的新しい船を中心にデータの収集および解析を行う方針であった。しかし、満載状態でのZ操縦試験のデータが特に少ないため、これを補充する目的で就航船のデータの収集も併せて行われた。その結果1989年以前建造の船のデータが12隻あり、このうち最

も建造日が古い船は1973年建造の船である。1990年以降建造の船は151隻、建造日不明船75隻がある。ただし、この建造日不明船のうち53隻は停止試験解析用のデータである。停止性能については、排水量とエンジン出力が主なパラメータであり、船型の違いによる影響が少ないと考えられることから、特に問題はないと思われる。

満載状態の定義は、ここでは試験時平均喫水(dm)がスカントリングドラフト(材料寸法から定める喫水)あるいは夏期満載喫水(ds)の80%以上とした。いずれの喫水も不明な場合には設計喫水を用いた。また、喫水比が不明な船もあり、この場合満載として報告されたものは全て満載とした。この定義だと126隻(56%)の船が満載となる。このうち停止試験用のデータが53隻が含まれ、停止試験以外の解析にはこれを除く73隻を使用している。暫定基準では、夏期満載喫水の95%以上の喫水で海上試験を行うことになっているが、この定義に従うと41隻に減少する。今回の定義で満載状態の船について試験ごとのデータの数をみると、停止試験以外では旋回試験の数が40隻程度あるのに対し、Z操縦試験の数が50~60隻となっている。これはZ操縦試験を中心に就航船のデータ収集を行ったことによる。初期旋回性能のデータも40隻程度あるが、Z操縦試験の数と比べて少ないのは、就航船のZ操縦試験計測で最初の操舵から方位が10°変化するまでの時間の計測がされていないためである。

満載、バラスト両状態がそろった船の数は26隻、そのうちZ操縦試験のデータがあるものは16隻であり、全てのZ操縦試験データ(初期旋回性能データを含む)がそろっているものは13隻となる。

これらの船の中で、明らかに暫定基準が適用される船は78隻、この内前述の満載状態(dm/dsが80%以上)の船は19隻となり、この満載状態の船で暫定基準で定められた試験を行っているものは7隻となる。暫定基準で定められた全ての試験を定められた載貨状態で行っている船として、喫水比(dm/ds)で95%以上の船に限定すると4隻の船となる。

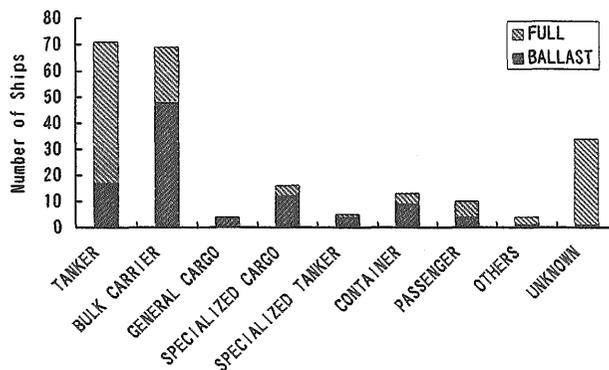


Fig.3 Ship Type

船の種類 (Fig.3) では、タンカーとバルクキャリアが多く、全体で140隻 (62%) となっている。満載状態では、タンカーが最も多く54隻で、これは満載状態の43%、全体の24%を占めている。この他に満載状態のバルクキャリアやコンテナ船も見られるが、これは就航時に行われた試験結果である。船の長さ (Fig.4) では、200~250mの範囲の船が最も多い。

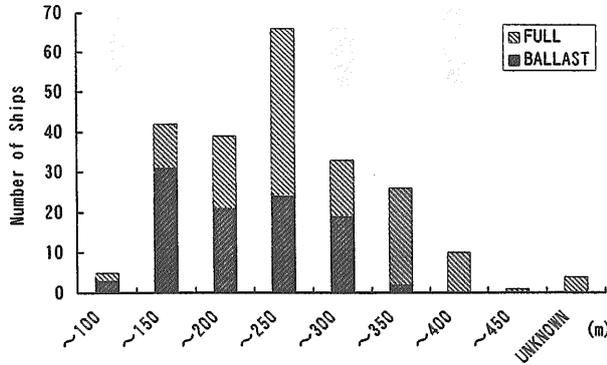


Fig.4 Ship Length

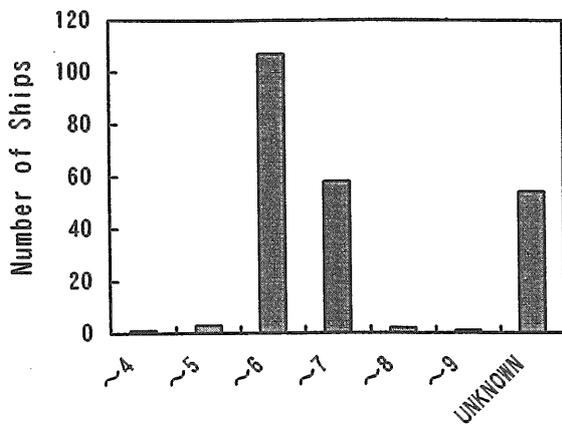


Fig.5 L/B

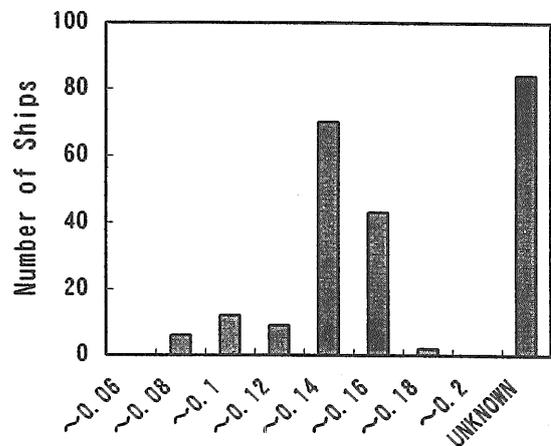


Fig.7 CB/(L/B)

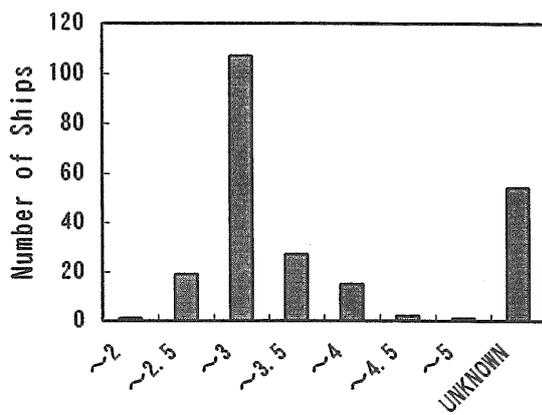


Fig.6 B/d

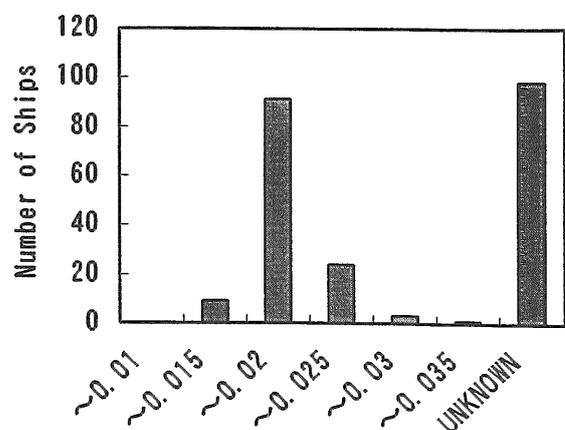


Fig.8 AR/Ld

船型パラメータごとのヒストグラムをFig.5~Fig.8に示す。ここで、Lは船長、Bは船幅、CBはブロック係数、ARは舵面積をそれぞれ表している。また、dは設計喫水を使用しているが、夏期満載喫水のものも含まれる。全体にデータの欠如が多く、不明船の数が多い。L/B (Fig.5) は5~8が多く、CB/(L/B) (Fig.7) は0.12~0.16が多くなっているが、これはタンカーとバルクキャリアのデータが多いためと考えられる。L/Bが4より小さい船は、暫定基準が適用されないフェリーである。B/dでは2.5~3の範囲が多いが、これはパナマックスの船が多いと思われる。また、船尾形状 (Fig.9) ではマリナープロファイルが、舵 (Fig.10) ではマリナーラダーが多いことが解る。さらに、マリナープロファイルとマリナーラダーの組み合わせは83隻となっており、この組み合わせが最近の船の特徴となっている。

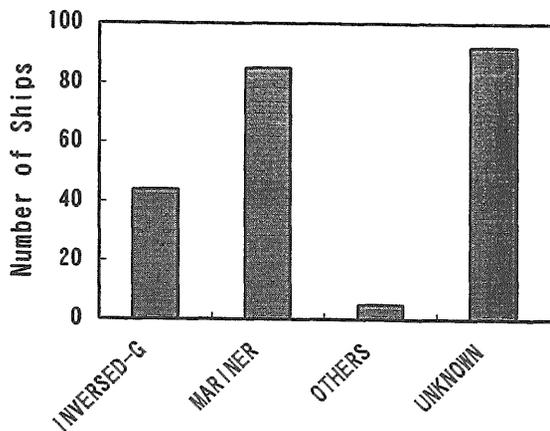


Fig.9 Stern Form

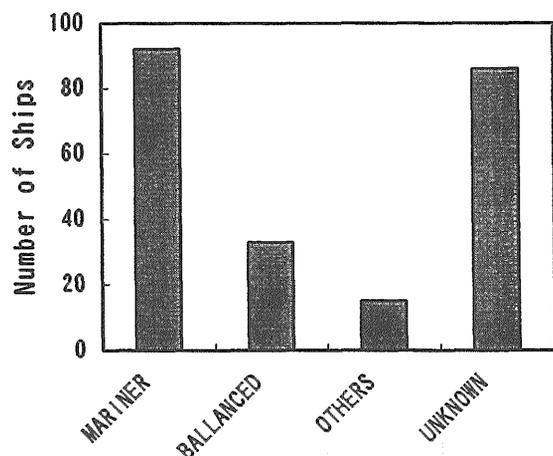


Fig.10 Rudder Form

4.2 暫定基準との対比

操縦性基準との対応を示したのが Fig.11~Fig.16 である。ここでは、4.1で述べた定義による満載状態の船73隻（満載状態の126隻の船から、停止試験解析用のデータ53隻を除いたもの）の解析結果を示す。

(a) 旋回性能

旋回性能を表す旋回縦距および旋回圏について、暫定基準と比較した結果をそれぞれ Fig.11、Fig.12に示す。全ての船舶が、旋回縦距の基準値4.5および旋回圏の基準値5.0を満足しており、旋回性能については特に問題ないことが解る。

(b) 初期旋回性能

初期旋回性能を表す航走距離について、暫定基準と比較した結果を Fig.13に示す。この性能については、1隻を除いて基準値2.5を満足している。この基準値を満足できない船はタンカーであり、第1オーバーシュート角には左右の非対称性が見られる。この船で最初に右から舵を切った場合は、左から舵を切った場合と比べ第1オーバーシュート角は小さく、方位角が 10° 変化する間での時間が長い。また、 L/U が6.6の船は、暫定基準が適用されないフェリーである。

(c) 変針及び針路安定性能

変針及び針路安定性能を表す $10^\circ Z$ の第1オーバーシュート角について、暫定基準と比較した結果を Fig.14に示す。5隻7データが基準を満足していない。内訳はバルクキャリア2隻とコンテナ2隻、タンカー1隻である。この7データのうち2データは1隻のバルクキャリアのもので、排水量が設計満載より13%多いスカントリーングドラフトのものであるが、同型船で同じ喫水の他船は基準を満足している。この両船の違いは、プロペラ直径、回転数および舵面積に見られた。さらに別な同型船で喫水が異なる試験結果では基準を満足している。また、基準を満足していない船の船尾

形状はマリナープロファイルが多いが、逆Gプロファイル（船尾骨材にシューピースを持つ船尾構造で、アルファベットのGを逆さにしたような形状をしたもの）も1隻見られる。舵面積比としては $1/47 \sim 1/64$ 程度である。

$10^\circ Z$ の第2オーバーシュート角について、暫定基準と比較した結果を Fig.15に示す。13隻20データが基準を満足していない。内2隻は $10^\circ Z$ の第1オーバーシュート角の基準を満足していない船（内訳はバルクキャリアとコンテナ）であり、他の11隻は満足していた船である。船尾形状は7隻がマリナープロファイル、1隻が逆Gプロファイル、5隻が不明となっている。舵面積比も $1/50 \sim 1/64$ である。また、主要目が同じで同型船と考えられる船が、3グループある。この内の一つのグループの同型船で基準値を満足している船もある。この船は基準値を満足していない船と比べると、トリムで0.4~0.7m程大きくなっており、喫水では0.1~1.0m程浅くなっている。

$20^\circ Z$ の第1オーバーシュート角について、暫定基準と比較した結果を Fig.16に示す。6隻9データが基準を満足していない。内訳は、タンカー2隻、バルクキャリア2隻、カーフェリー1隻、不明1隻である。このうち、タンカー2隻、バルクキャリア2隻は、 $10^\circ Z$ の第2オーバーシュート角の基準値を満足していなかった船である。また、1隻のバルクキャリアは結局全てのオーバーシュート角の基準値を満足していないことになる。

(d) 停止性能

停止性能について暫定基準と比較した結果を Fig.17に示す。4隻（タンカー3隻、バルクキャリア1隻）4データが基準を満足していない。Fig.18に後進発令からプロペラ逆転までの時間が船が停止するまでの時間に占めるの割合を示す。3隻のタンカーは、この時

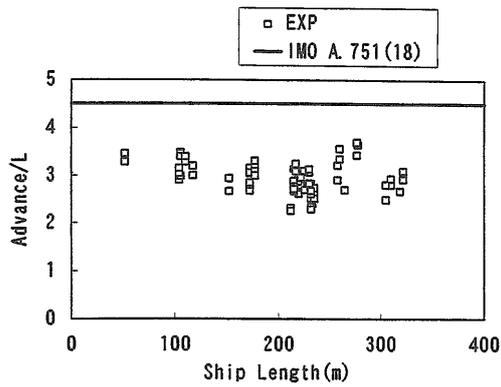


Fig.11 Advance

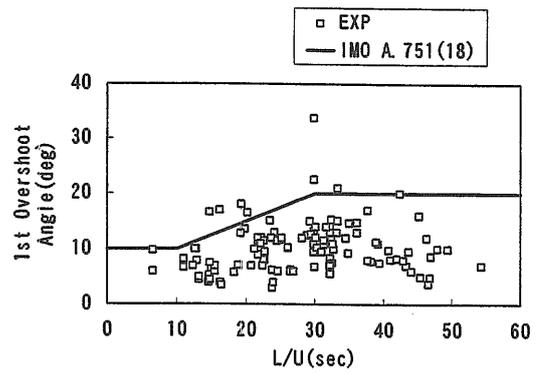


Fig.14 1st Overshoot Angle (10° Z)

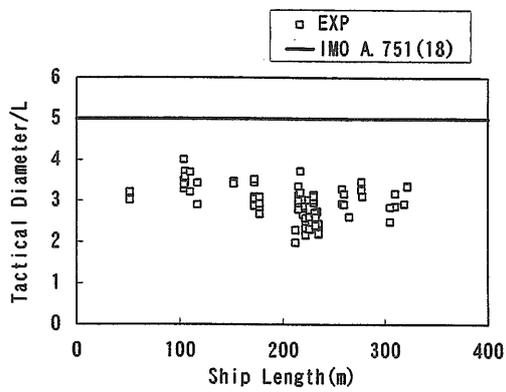


Fig.12 Tactical Diameter

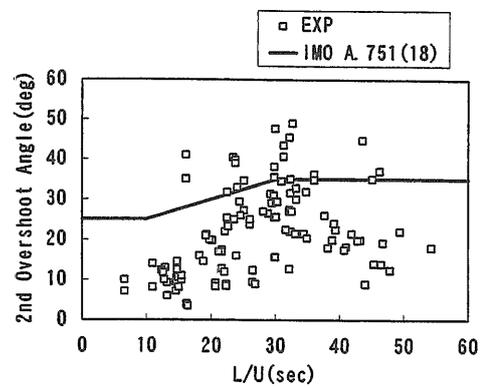


Fig.15 2nd Overshoot Angle (10° Z)

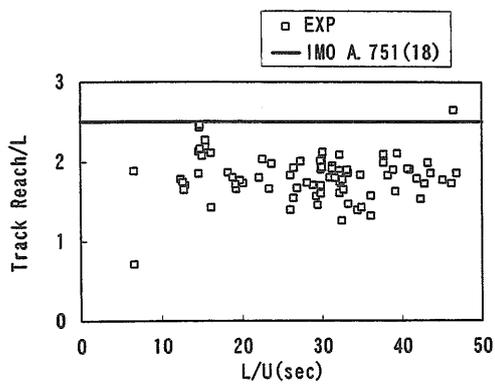


Fig.13 Initial Turning Ability

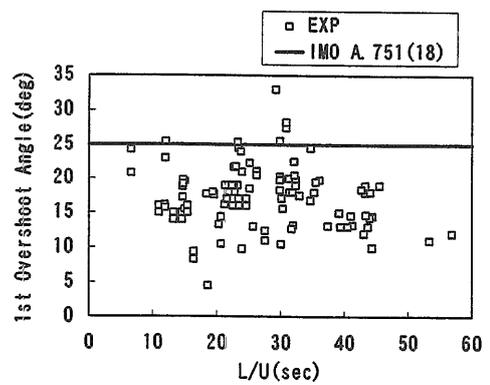


Fig.16 1st Overshoot Angle (20° Z)

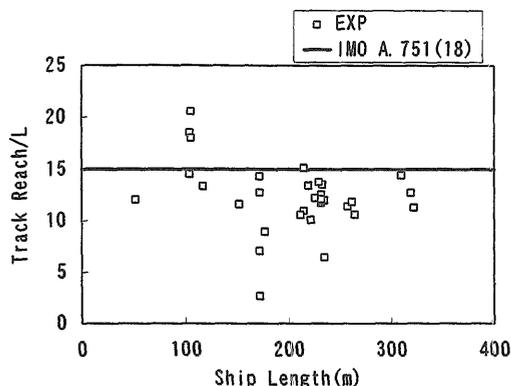


Fig.17 Stopping Ability

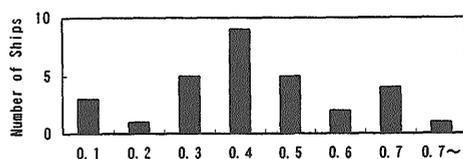


Fig.18 Time Interval between Ordering Astern and Reversing Propeller

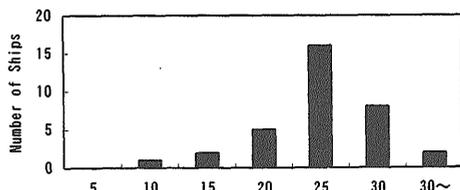


Fig.19 Stopping Time (t(U/L))

間の割合が62~68%あり大きい部類に属している。同程度の船はフェリーおよびタンカーがあるが、基準を満足している。これは排水量に対するエンジン出力が比較的大きいためと推測される。前述のバルクキャリアについては、同割合が31%と小さく異なる傾向を示している。また、Fig.19には無次元化した停止時間を示す。基準を満足していないこれらの船は、この停止時間も30前後で上位を占めている。

5. 今後の課題

基準で定められた夏期満載喫水で海上試運転ができ

ない乾貨物船の場合には、バラスト状態での海上試運転で基準の適合性を判断せざるをえない。この時バラスト状態および満載状態の両状態の操縦性能の推定法が必要になる。これは、海上試運転結果の値がその載貨状態の時の推定値と合えばその推定法は正しいと考え、その推定法で基準で定められた満載状態の推定を行い、その推定値が基準値を満足していれば基準を満足しているとする考え方である。即ち、バラスト状態の海上試運転は推定法の確認を行うための試験となる。この考え方では、異なる載貨状態の操縦性能を推定を行う推定法の確立が必要である。

また、海上試運転では、風、潮流、波といった外乱の影響を避けることは難しい。従って、これらの外乱が海上試運転での計測値に、どれくらい影響を与えるかといった外乱影響の評価が必要である。これにより海上試運転結果から外乱影響を除くことが可能となる。

6. 結言

操縦性能データベースを構築しデータの解析を行った。その結果をまとめると次の様になる。

- (1) 旋回縦距および旋回圏については、暫定基準との比較で問題となる船はない。
- (2) 10° Z 試験の第2 オーバーシュート角や20° 第1 オーバーシュート角については、10° Z 試験の第1 オーバーシュート角と比べて暫定基準を満足しない船が多く見られる。これらの船で同型船を比べると、喫水が浅くなったり船尾トリムがついたりすると基準値を満足する例が見られた。
- (3) 後進発令からプロペラを逆転させるまでの時間が長いことが、停止性能を満足できない理由の一つにあげられる。

本研究の一部は、(財)日本造船研究協会 RR74操縦性 WG との共同研究として行われたものであり、貴島勝郎主査(九州大学教授)をはじめ関係各委員に深く謝意を表します。

参考文献

- [1] 貴島勝郎：船舶の操縦性基準制定に至る内外の動向、船舶の操縦性能に関する研究成果報告会、日本造船研究協会、平成6年6月
- [2] 工藤栄介：船舶設計時における操縦性能の推定と評価、運動性能研究委員会・第10回シンポジウム、第1章操縦性基準とその背景、1993年12月
- [3] 運輸省海上技術安全局：海安第131号、平成6年8月24日