

操縦性能評価のためのシミュレータスタディー

高度運航システム研究グループ *田中 邦彦、福戸 淳司、
総合安全評価研究グループ 沼野 正義、伊藤 博子
操縦・制御研究グループ 原口 富博

1. はじめに

操縦性能の著しく悪い船舶の出現に歯止めを掛けるため、IMOは1993年に操縦性能暫定基準A751(18)を採択し、昨年その暫定基準の見直しが行われた。その際、海上技術安全研究所では、操縦性能の指標の1つである針路安定性能および回頭制動性能に関する基準の検討を行うため、4隻の主要寸法は同じで異なる操縦運動特性を持つ船をシミュレータ上で現役水先案内人の方々に操船していただき、それぞれの船についての操縦性能の良否についての主観的評価を得た。

本報告では、この操縦性能評価のために実施したシミュレータ実験とその操縦性能の主観的評価結果について述べる。

実験においては、実験シナリオ、シミュレータから提供する情報の設定、評価方法を検討し、対象海域である来島海峡の嚮導経験のある水先案内人4名により、評価を行った。

2. 評価対象船の設定

操縦性能の評価対象船は、シナリオとして利用する来島海峡の通航状況を考慮し、船長180m、船速11.29ノット、 $L/U \div 31$ と設定した。この設定は、実船試験データベースに比較的データが多い $L/U = 30$ 近辺に相当する。

対象船の操縦運動モデルは、拘束模型船試験を系統的に実施した3船型をベースに、その舵面積等を変更することにより4つの特性を持つ船型の操縦運動モデルを作成し使用した。この操縦運動モデルにはMMG型の数学モデルを使用し、シミュレータに移植して用いた。また、各船型の操縦微係数については、模型船実験結果を基に推定した。各船型のシミュレータ上で実施したZ試験結果を図-1に示す。

各船型の特徴を以下に示す。

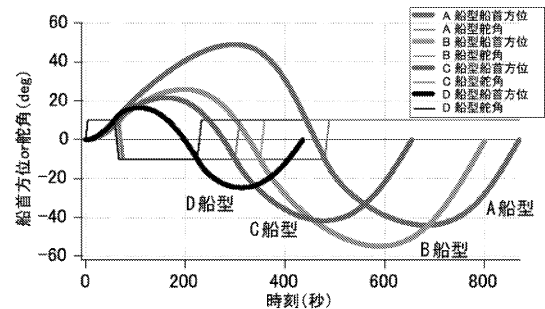


図- 1: 10度Z試験結果

(1) A 船型

A 船型は、V 字形の船尾形状を持つ4隻の中で最も操縦性能が劣る船型である。不安定ループ幅は 8.7° と大きく、10Z試験のファーストオーバーシュート(FOS)角、20Z試験のFOS角とも暫定基準を満足していないが、10Z試験のセカンドオーバーシュート(SOS)角は暫定基準を満足している。これは大きなFOS角による回頭角速度の発達が、大幅な船速低下を招き、この事がかえって舵効きを良くしSOS角が抑えられたためと考えられる。

(2) B 船型

B 船型は、10Z試験のFOS角は暫定基準を満足しているものの、10Z試験のSOS角および20Z試験のFOS角は満足していない。不安定ループ幅は 6.1° である。この船は、比較的舵面積が小さく、船速低下も小さい。このため、10Z試験のFOS角については、回頭角速度が十分に発達しない間に10度を迎えたため結果として基準を満足する事ができたが、SOS角については、発達した回頭角速度を小さな舵で押さえきれず、基準を満足できなかったと考えられる。

(3) C 船型

C 船型は、不安定ループ幅が 4° で、全ての暫定基準を満足する船型である。この船は、B 船型の舵面積を15%大きくしたものである。

(4) D 船型

D 船型は、C 船型と同様全ての暫定基準を満足する船であり、マージナルステイブルの特性を持つ、4 隻の中で最良の操縦性能を持っている。この船型をシミュレータの慣熟試験に用いた。

3. 操縦性能評価実験

3.1 概要

操縦性能評価実験は、海上技術安全研究所の操船シミュレータにおいて、2001 年 9 月に 4 回に分けて 2 日ずつ実施した。実験海域は、操縦性能の良否の影響を際立たせるため屈曲した S 字状の航路を持つ来島海峡西水道とし、この海峡を東航するシナリオで実施した。また、操縦特性の影響のみを見るため、交通流や風潮流の影響は入れなかった。図-2 に来島海峡西水道と実験時の航跡例を示す。

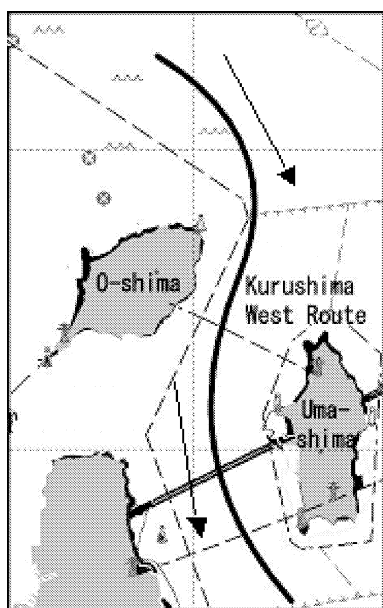


図- 2: 来島海峡西航路と航跡例

今回の実験では、内海水先人会の協力により、来島海峡を実際に嚮導した経験のある 4 名の水先人の方に被験者として参加していただいた。表-1 に、各被験者の経験年数等を示す。

また、操船は通常の水先業務と同じく、被験者が操舵員に口頭で舵角の指示を直接して頂くこととし、弊所職員がその指示に従って操舵輪を操作して舵角を設定した。また、船速の変更指示は行わなかった。

表- 1: 被験者データ

被験者	経験年数	シミュレータ経験	乗船した船種
1	6.0	ない	コンテナ バラ積み船 自動車運搬船
2	7.0	海技大で一度	コンテナ バラ積み船 大型タンカー
3	6.0	約 20 年前に 一度	コンテナ バラ積み船 大型タンカー
4	2.5	5～6 年前に 一度	コンテナ バラ積み船 大型タンカー

3.2 実験の手順

2 日に渡る実験では、来所後まず趣旨説明を行い、被験者の経験、通常用いている来島海峡の通航手順等のインタビューを行った後、実験手順の説明を行った。

実験は、2 日共、まず最も操縦が容易な D 船型の船により、操船結果を評価しないことを前提に西航路通航による慣熟航行を行った。この際には、来島海峡での操船で実際に得られる情報が確保できるかの確認を行うと共に、シミュレータ上での操船指示方法に慣れて頂いた。

次に、船型毎の評価を行った。各船の評価では、まずその船の操縦性能を把握するため、比較的広い海域である来島海峡西端付近で船を自由に航行させ、操縦性能の把握を行った。これに引き続き、来島海峡入り口に近い小島付近から評価のための通航実験を開始した。実験は、この小島北から馬島の南で船がほぼ 130 度で定針するまで実施し、変針開始のための操舵開始時から定針する時までを評価の対象とした。

各実験終了後、被験者に主観的評価のためのアンケートに記入していただくと共に、通航時の操船難易度や操船上の注意点等のインタビューを行った。

評価を実施した船型の順番は、1 日目に C,B の 2 船種、2 日目には A,B,C,D の順に全 4 船種のシミュレーションを行う事とし、特に 2 日目は、針

表- 2: 供試モデルの操縦性能に関する主観的評価結果

評価ポイント	D 船型 (0.6 度)	C 船型 (4.0 度)	B 船型 (6.1 度)	パ協実験 (7.5 度)	A 船型 (8.7 度)	パ協実験 (10 度)	パ協実験 (15 度)
5						▲	
4		○ ●●	○○○ ●●●●●		○ ●●		▲▲▲▲
3	○ ●●	○○ ●●	○○○○○ ●●●●●	▲	○○○ ●●	▲▲	▲▲
2	○○ ●	○○○○○ ●●●●●	○			▲	
1	○ ●						
シミュレーション 時の平均評価値	2	2.5	3.25	3	3.25	3.25	3.67
一般的操船局面 での平均評価値	2.25	2.75	3.5		3.5		

○：シミュレーションシナリオにおける操船困難度の評価結果

●：一般的な操船局面での操船困難度の評価結果

▲：日本パイロット協会で実施された漁網設置海域通過時の操船困難度評価結果

路不安定性の大きい船の順に実験を行い、全ての実験終了後、操縦性能基準をどの間に設定すれば良いかを聴取した。

また、実験時には、舵角の他、船位、船速、回頭角速度、針路、船首方位を時々刻々記録した。

4. 供試船型の性能に関する評価

供試船型に関する評価は、各船型の評価実験後、調査票に基づいて操船難易度に関する評価を得ると共に、操舵及びあて舵のタイミングの良否、コース取りの良否、操船上に注意点についてインタビューをする形で実施した。

難易度の評価は、以下に示す船舶の操縦性能についての予備知識の有無や安全操船の可能性を基準に5段階の評価ポイントを設定し、難易度がどの段階であったかを記入してもらう形で評価を得た。また、評価時の立場としては、直前にシミュレータでの操船した状況を想定した場合と実際の一般的な操船を想定した場合の評価を得た。

評価ポイントとその意味付け

- 5: 予備知識があっても、ほとんどの業務において安全な操船が不可能。
- 4: 予備知識があっても、周囲の状況が悪い場合には安全な操船が不可能。
- 3: 予備知識があれば、ほとんどの業務において安全な操船が可能。
- 2: 予備知識が無くても、ほとんどの業務において安全な操船が可能。
- 1: 操縦は容易である。

表-2に各供試モデルに対する主観的評価結果を示す。表中左の評価ポイントは安全操船の可能性を基準に設定した5段階の評価指標である。また、下2段はシミュレータでの操船時と実際の一般的な操船を考慮した場合の供試モデルの操縦性能の主観的評価値の4名分の平均を示している。また、表の横軸は供試船のモデル及びその不安定ループ

幅の値を表し、表内の○及び●印の数はそれぞれシミュレーション時及び一般的な操船場面での評価ポイントを得た回数を示す。さらに、表-2には1991年の実施された操縦性能不良船に関する研究での漁網展開海域通過時の操船困難度の主観的評価結果の内、今回と条件がほぼ等しい船長180m, L/U=29.2の結果を▲で併せて示した。

1991年の実験では、不安定ループ幅が7.5度から15度と今回の実験よりも不安定ループ幅が大きい設定で実施されている他、シナリオも違うが、ほぼ同じレベルの操船難易度を示した。主観的評価はほぼ右肩上がりであり、主観的評価結果は不安定ループ幅等で表される操縦性能に相関を示していた。

各船型についての主要な口述意見を表-3に示す。

表-3: 全被験者の操縦性に関する代表的なコメント

船種	操縦性に関する代表的なコメント
A	実在し得る船 コントロール出来なくはない やや不安のある船 周囲の状況が悪いと危険 今までの船の中で最も性能が悪い
B	極端に悪くはない。スタンダードの範囲 スタンダードよりは落ちる やや不安のある船 難しい部類に入る 条件が悪ければ危険 悪い方の部類に入る
C	基準の上くらい 普通の船で、不安感がない。 特に問題のない船である 普通に操船できる スタンダード内 極端に悪くはない。スタンダードの範囲 いつも操船している船の性能
D	性能は良い 特に問題のない船である 基準の上くらい 安全に操船できる スタンダード内

通航実験は、B,C船型については2回、A,D船型については1回の実験を行った。さらに2日目には、被験者1を除いてA,B,C,Dと操船難易度が大きいと思われる順に実験を行い、全ての実験が終了後、各被験者に対して今後出てくる船の操縦性基準を決めるとした場合、どの船型までを許容範囲とするかについて、意見収集を行った。その結果、全ての被験者から、B船型以上に操船難易度が高い船は、基準外とすべきであるとの意見を得た。

5. まとめ

針路不安定度の違う4隻の船を対象に、シミュレータによる来島海峡西航路の通峡実験を行い、操縦性能の難易度の主観的評価を得た。

操船難易度は、5段階の評価レベルを設定し数値化を行った。この結果、操船難易度は、針路不安定度を表す不安定ループ幅と相関があることが確認できた。

針路安定性能及び回頭制動性能の操縦性能基準としては、4船全て今回の状況では操船が可能であったが、風潮流や他船の影響等実際の操船状況を考慮すると、不安定ループ幅6.1度であるB船型以上の操船難易度のある船は、基準外とすべきであるとの評価を得た。

本研究で得られた結果は、IMOのDE小委員会にインフォメーションペーパー(DE 45/INF.9)として紹介され、2002年に行われた針路安定性能及び回頭制動性能の操縦性能基準改訂の検討に寄与した。

謝 辞

本研究は、日本財団の助成事業の1つである(社)日本造船研究協会の第74基準研究部会操縦性WGとの共同研究の一部として行われた。

この研究を遂行するにあたり、ご指導頂いた九州大学貴島教授をはじめとする同操縦性WGの皆様には感謝いたします。

また、評価実験のため、2日に渡るシミュレータでの操船と評価船に対する主観的評価及び操船等に関わるインタビューに協力頂いた内海水先人会の水先人の方々に深く感謝いたします。