

# 船舶の操縦性能とPMM試験

## はじめに

船舶の安全と海洋の環境保全の必要性の増大から、大型船を中心に船舶の操縦性能改善の要求が、世界的な気運となっている。IMO (International Maritime Organization、国際海事機関) でもこの問題に重大な関心を持ち、操縦性能基準を定めて、基準に達しない船舶の排除を検討してきた。

このことについては、先に九州大学の貴島教授のお話を本誌 (No.17、平成4年4月号) に紹介したが、その後もタンカー等の事故は相次ぎ、平成5年だけでも4件の石油大量流出等の大事故が発生している。

操縦性の問題に関する、その後のIMOの動きは、平成5年2月の第36回設計設備小委員会 (DE) で、旋回、保針および停止性能の基準を定めるIMO総会決議案 (Draft Assembly Resolution, Interim Standards for Ship Manoeuvrability) を作成した。この決議案は、平成5年11月に開催される第18回総会において採択される予定といわれている。

その後、平成6年2月の37回DEで基準等に関する解説書 (Explanatory notes) の作成等が行われる。

この操縦性能暫定基準 (以下本基準) によると、本基準がIMOで採択された日から6ヶ月以降 (1994年7月以降の予定) に完成する、長さ100m以上の船舶およびすべてのケミカルおよびガス運搬船は、基準の遵守が必要となる。

このためには、設計段階で、満載状態での基準のクリアを証明する必要があるなど、造船設計の面からも、早急に準備すべき課題が多い。

当センターとしては、操縦性能が推進性能と同様に重要性が高まる事を予測し、一昨年来この準備を進めてきたが、初期の予定をほぼ完了した。

以下、本基準と当センターの操縦性能模型試験の概要について説明する。

## IMO操縦性能暫定基準の概要

本基準は、発効後5年間が試行期間で

あり、解説書の作成もIMOにおいて作業中の状態にあるが、本基準の概要は以下の通りである。

### (1) 基準となる考え方

ここでは、本基準の内容は、現在の技術の範囲内で構成されていること等が述べられている。すなわち、船の操縦性的の評価には、従来から行われている実船の操縦性能試運転の結果を使用することが基本となっている。また当該船舶の本基準クリアの証明は、設計の段階では、模型試験または数学モデルによるシミュレーションを用いることで十分であるが、この予測結果については、試運転に際し確かめる必要がある。本基準クリアの承認は、試運転結果によるが、もし本基準に達しない場合は、主官庁は改善を要求することができる。

### (2) 適用船舶

適用船舶については、前述の通りであるが、本基準に対し適合が承認された船舶でも、その後、修理、改装、改造が行われた場合、主官庁の指示があれば、本

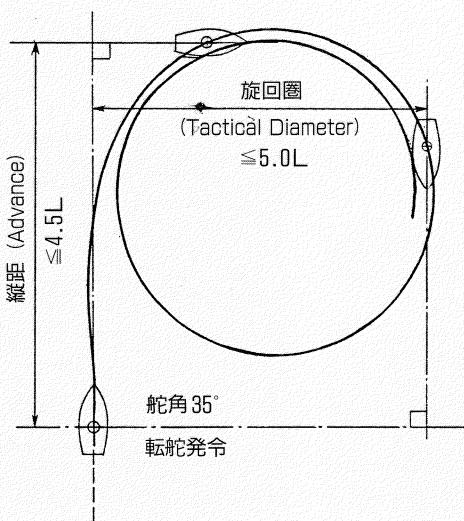


図-1 旋回試験(舵角35°の場合)と基準性能

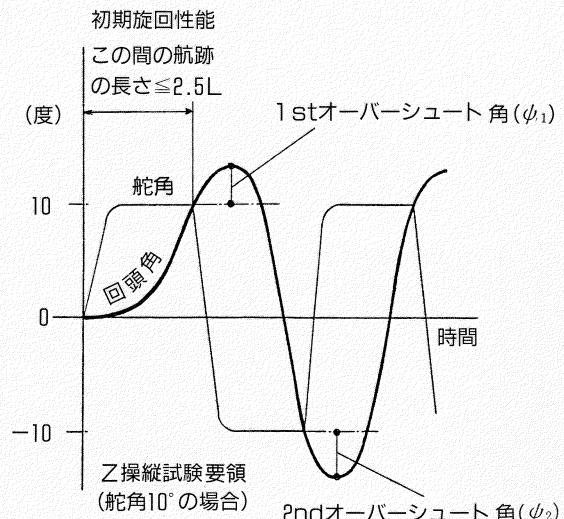


図-2-1 Ζ操縦試験と初期旋回の基準性能

基準適合をあらためて実証しなければならない。

高速船については、本基準の適用は除外されている。

### (3) 基準性能

- 海上試運転における操縦性試験の速力は、最大主機出力の85%に相当する船速の90%以上とする。
- 旋回試験は、右舷、左舷各35°の舵角または船速対応の最大舵角で行う。基準性能は、図一1を参照。
- 乙操縦試験は、舵角10°および20°で行う。試験要領および基準性能は、図一2を参照。
- 全力停止試験は、全力後進発令から停船するまでの航走の長さ(Track reach : midshipの航跡長さ)を計測する。航走長さは、15L以下と規定されているが、大型船 (Ship of large displacement) については、主官庁が、本基準の適用が適当でないと認めた場合には緩和することができる。(図一3参照)
- これらの試験の条件としては、

水深が深い非制限水路で、静穏な海面であること、満載のトリム無し状態で、定速状態で試験を開始することが規定されている。

### (4) 追記事項

海上試運転時の操縦性試験の実施に際して、前記の理想的な試験条件に適合しない場合の結果の修正法については、解説書に記載される予定になっている。

前記の操縦性試験で、不安定現象が見られた時には、不安定の程度が判る他の試験(スパイラル試験等)が追加されるかもしれないが、これについても解説書に記載される予定である。

## 操縦性能に関する模型試験

操縦性能暫定基準の発効によって、造船設計としては、新船型の設計に際し、操縦性能の推定が必要になる。これを支援するために、当センターでは、曳航水槽で、船型試験の一環として操縦性能が計測できるシステムを開発した。

本システムによって、推進性能試験と操縦性試験を一連の試験として実施する

ことができる。

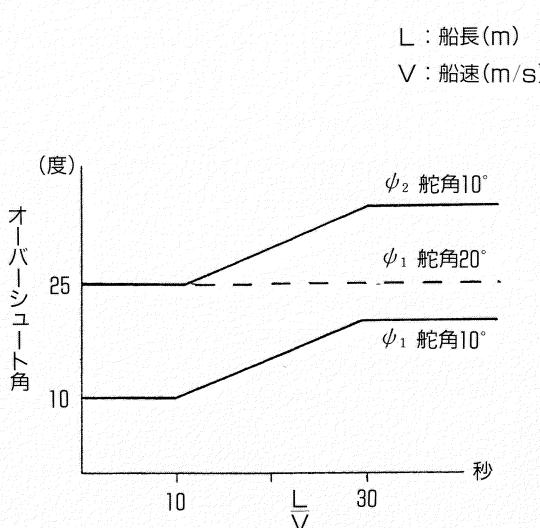
### (1) 操縦運動のシミュレーション計算

操縦運動を計算でシミュレートするための操縦運動モデルは、以下の2種に分類できる。(図一4参照)

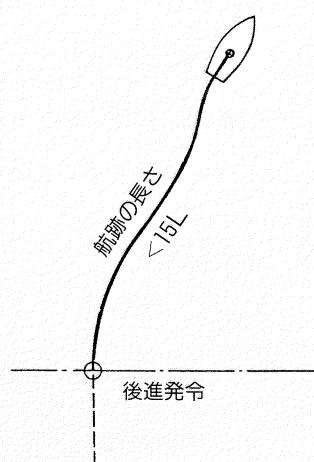
- 応答モデル
- 流力モデル

応答モデルは、船の操縦運動を制御工学的な立場から取り扱うもので、 $T_1$ 、 $T_2$ 等の操縦性指数は、実船や模型船の旋回試験や乙操縦試験から求める。このモデルは比較的簡単なモデルであるが、応用が余りきかない欠点がある。たとえば、ある船について実船試験や模型試験で操縦性指数を求めて、舵面積を変えた場合にはその操縦性指数を使用できない。このモデルは、オートパイロットではよく使用される。

一方、流力モデルは、流体力学的な立場から操縦運動を取り扱うもので、船の進行方向、横方向の運動、および垂直軸周りの回転を表す3個の方程式を連立させ



図一2-2 変針および保針の基準性能



図一3 停止の基準性能

て解く（図一4の式は、垂直軸周りの回転を表す方程式である）。流力モデルの方程式はいずれも原則として、

$$\begin{aligned} (\text{慣性項}) &= (\text{船体抵抗の項}) \\ &+ (\text{舵力の項}) \\ &+ (\text{プロペラの項}) \\ &+ (\text{外力の項}) \end{aligned}$$

の形式になっている。 $N_V$ 、 $N_R$ 、……の操縦性微係数等は拘束模型試験から得られるもので、文献等でもいろいろな船型の係数が公表されている。本モデルは係数の個数が多いが、応用がきく形式となっている。たとえば、舵面積を変える場合には、舵面積の値（図一4の $S_R$ ）を変えるだけでよい。このモデルは、最近の操船シミュレータでもよく使用されている。

## (2) 模型試験

操縦性能に関する模型試験は、

- 自由航走試験
- 拘束模型試験

の2種に分類できる。（図一5参照）

自由航走試験は、通常、角水槽を使用し、旋回試験、乙操縦試験など、実船試験と同じ試験を実施するので、前述の応答モデルの操縦性指標が得られる他に、旋回圈等を直接得ることができる。しかし、実船一模型船間の尺度影響を修正することが困難であること、応用がきかないこと等の欠点がある。

拘束模型試験は、模型船を拘束して強制的に運動させ、そのときの拘束力を計測する試験である。図一4の流力モデルの式で示すと、運動 $U$ 、 $V$ 、 $r$ を与えて外力を計測することによって、 $N_V$ 、 $N_R$ 、……の操縦性微係数等を求める。

図一6に示すように、これは、操縦運動のシミュレーション計算とは逆の過程となっている。

拘束模型試験は、図一5に示すように、強制的に与える運動によって

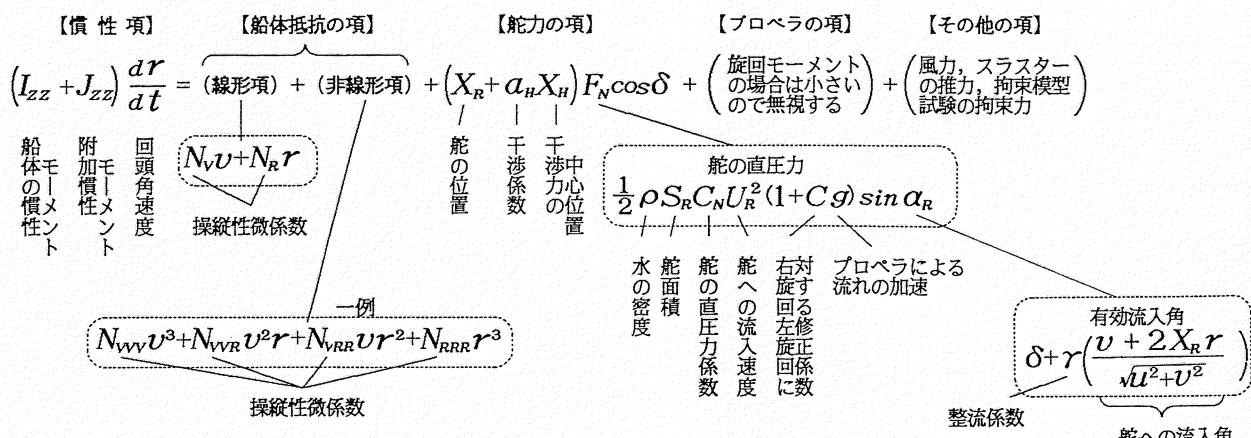
- PMM試験  
Planar Motion Mechanism test
- 平面強制動搖試験

- CMT  
Circular Motion test
- 旋回腕試験  
Rotating Arm test

の3種に分類することができる。PMM試験は、推進性能等の試験に使用される長水槽で、模型船を蛇行させる試験である。CMT、旋回腕試験は、ともに模型船に定常な円運動をさせる試験である。CMTは、航海性能水槽などに装備されている主台車、副台車を同時に御御して円運動させる試験であり、旋回腕試験では専用の旋回腕を使用する。

図一5に示すようにこれらの試験は一長一短を有するが、常に試験費用の節約が要求されるコマーシャル試験では、長水槽を使用するPMM試験が適していると考えられる。当センターでは、昨年度、第1水槽にPMM試験装置を整備し、今年度からは造船所をはじめ、外部からの受託試験を実施することとしている。

## 流力モデル(MMGモデル、垂直軸まわりの回転の運動方程式)



図一4 操縦運動モデルの比較

造船技術センターの  
PMM試験装置の基本性能

制御方式

- ACサーボモーターによりスエーとヨーを別々に制御
- 位置制御／速度制御の切り替え可能
- データ収録、制御を2台のパソコンで処理

模型船の最大運動量

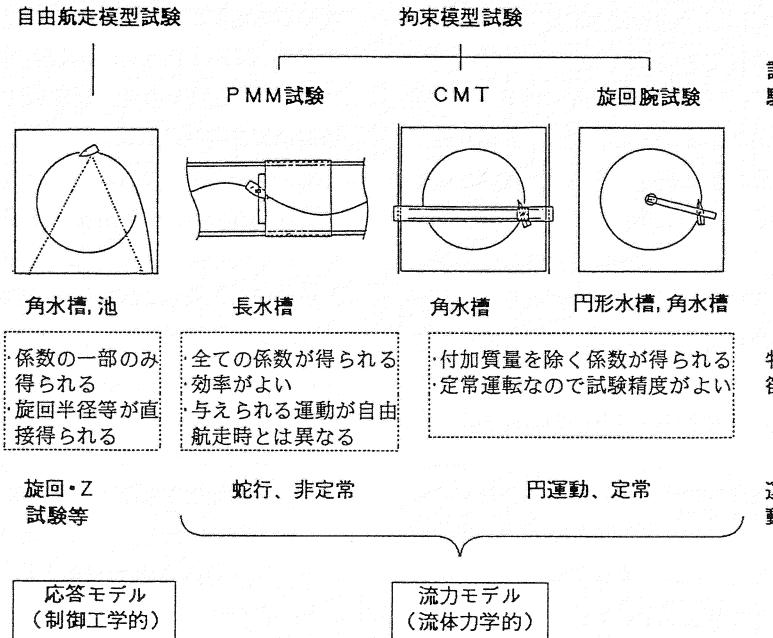
スウェー ±2.5m  
ヨー ±30度



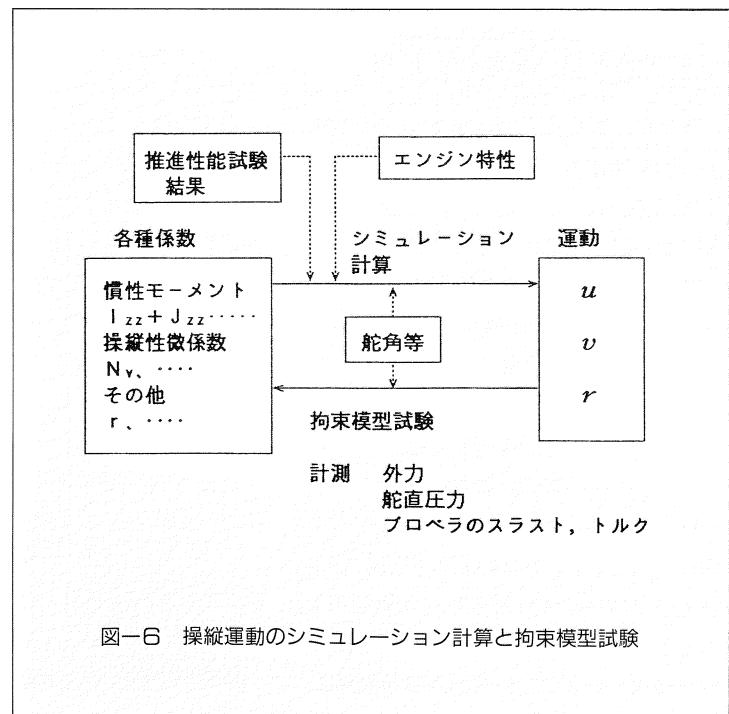
応答モデル

$$T_1 T_2 \frac{d^2 r}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{dr}{dt} + r + (\text{非線型項}) = K\delta + KT_3 \frac{d\delta}{dt}$$

$u$  : 船の前進速度  
 $v$  : 船の横流れ速度  
 $r$  : 船の回頭角速度  
 $t$  : 時刻  
 $\delta$  : 舵角



図一五 操縦性試験の比較



図一六 操縦運動のシミュレーション計算と拘束模型試験