

(昭和50年11月日本造船学会秋季講演会において講演)

Circular Motion Test (CMT)

による操縦性試験法について

正員 小山 健夫* 正員 周 正 会**
正員 元 良 誠三* 正員 小柳 雅志郎*

On the Circular Motion Test Technique (CMT) for
the Maneuverability Model Test

by Takeo Koyama, *Member* Jyong Hoe Chyu, *Member*
Seizo Matora, *Member* Masashiro Koyanagi, *Member*

Summary

The circular motion test technique (CMT) is introduced in this paper, which was developed for the captive maneuverability model test at the Maneuvering Tank of the University of Tokyo.

This test makes fully use of the X-Y carriage system at the Maneuvering Tank. The X- and Y- carriages are controlled by digital computer along the prescribed circles. The model rotating device which is attached to the Y-carriage controls the direction of a model to keep the drift angle constant. In this way, the CMT technique is completely equivalent to the rotating arm test. The most important particular of this system is that the very large radius of circle can be got easily in a 30×50 m water surface which was practically impossible in the conventional rotating arm test.

A trial run of this system was carried out with a 3m Series 60 model. The obtained results coincide fairly well with the results of Eda and Crane. It can be convinced that the CMT will be a standard captive model test technique in our laboratory after several improvements in the carriage control and data acquisition systems.

The harmonic motion test (HMT) and the transient motion test (TMT) are also going to be developed. HMT and TMT tow a model along the path which corresponds to the sinusoidal velocity and a random path respectively. As the HMT technique is equivalent to the very large amplitude PMM (30 m), it will be possible to get data in between of the conventional rotating arm test and PMM test.

1 緒 論

東京大学船舶工学科航海性能水槽では、このたび X-Y 型曳航台車をミニコンにより制御することにより模型を円周の一部を通るように曳航して、Rotating Arm と同等な実験を行なう、Circular Motion Test のシステムを完成したので報告する。

航海性能水槽は昭和 45 年に完成して以来^{1,2)}、最大の特徴である X-Y 型台車を活用し、主として耐航性の研究の方面に重要な役割りを果たしてきた。しかし、X-Y 型台車の機能がより有効に活用されるのはむしろ操縦性の方面であり、たとえば

* 東京大学工学部

** 東京技術計算コンサルタント

- ① 自航模型船を自動的に追跡し、航跡を正確に測定する。
- ② 模型船を X-Y 台車によりあらかじめ設定された航跡上を曳航し、流体力を測定する。

というような利用方法は、本水槽の計画当初から主目標として考えられていた。

これらのうち、前者については既に光学式のシステムを完成しているが⁹⁾、後者については制御用のデジタル計算機がないため実現が遅れていた。

日本造船研究協会 SR 154 部会では、昭和 49 年度より幅広肥大船の操縦性の検討に取り組むことになり、その中心課題のひとつとして異常現象の解明が選ばれた。

操縦性における肥大船の異常現象は、船尾付近の流場の複雑な挙動に起因すると考えられており、その解明には、船に微小な運動を与えたときの流体力の測定あるいは流場の観察が有効で、その運動も極力単純なもの、即ち斜航試験や Rotating Arm 試験が望ましい。

Rotating Arm 試験における角速度運動の強さは、無次元角速度

$$r' = \frac{V}{R} \cdot \frac{L}{V} = \frac{L}{R}$$

ただし、 L : 模型の長さ、 V : 模型の速度、 R : Rotating Arm の半径によりきまるため、 L に一定の下限があるとすれば、 r' を小さくするためには巨大な Rotating Arm 水槽が必要であることが難点とされてきた。

以上の理由から、航海性能水槽に一時ミニコンを設置し X-Y 台車を制御することによって模型船を円周の一部を通るように曳航し、Rotating Arm 実験に代替させてみようということになった。

このシステムは昭和 50 年 1 月に完成し、予備試験の結果予想以上の性能が得られ、通常の Rotating Arm による実験に比べて能率的でしかも十分に信頼できる測定ができる確信が得られた。

2 試験装置のハードウェア

(1) 曳航台車^{1,2)}

航海性能水槽の曳航台車は 30m スパンの X 台車の上を Y 台車が走行するようになっており、30m×50m の水槽上任意の位置に移動できる。両台車ともサイリスタレオナード方式によるアナログ制御を行なっている。この増幅器には外部入力端子が設けられ、±10V 以内の指令電圧により任意の速度制御が可能である。

(2) 模型回転装置

Rotating Arm と同等な実験を行なうには、X-Y 台車により模型の重心を円弧上に制御すると共に、偏角が常に一定になるよう円弧に合せてごく低速で模型を回転させる必要がある。このための装置を写真 1 に示す。

この装置は写真 3 に示すように Y 台車に取付けられ、検力計を介して模型船を取付ける。

機構的には、50W のサーボモータの出力を、ハーモニックドライブとタイミングベルトの組合せで約 1/500 に減速し、出力軸での最高回転速度は 40°/sec³⁾ となっている。他の目的に製作したものを流用しているため、本実験の目的には最高回転速度が大きすぎるが、ハーモニックドライブが 1 段減速であることと、タイミングベルトがある程度ショックを吸収することにより、ごく低速度においても回転は非常に滑らかである。

本装置はトランジスタ式増幅器により制御され、±10V 以内の指令電圧により回転数が制御される。

(3) 位置の測定

X, Y 両台車の位置および模型回転装置の角度の測定は、光電式のパルス発生器によって行なった。このパルス発生器は回転の正逆方向を判別するため、電子的に 90° の位相をもつ 2 系列のパルスを発生するもので、2 系列のパルスのうちどちらのパルスが先に来たかを調べることによって正負の方向が判別できる。

制御用に使用したミニコンの語長が 16 bit であり、整数で -32768 ~ 32767 の値を表現できることと、水槽の長さが 50m であることから、X, Y 方向は 1mm の移動に対して 1 パルスを発生するようにタッチローラーの直径を決め台車に取付けた。この模様を写真 2 に示す。タッチローラーのローラー面の中心にはスリップを防止するため溝を付け、ゴム製バンドを取付けている。

一方回転方向(ψ)は、回転の出力軸に 1 回転あたり 3600 パルスのパルス発生器を取付け、0.1° を 1 パルスとして測定している。

(4) 航跡制御用ミニコンおよびインターフェース

制御用ミニコンとして FACOM U-200 を用いた。メモリ容量 16 KB, コンソールタイプライタ, 紙テープリーダー/パンチャー付の比較的小規模のものである。

制御用機器とのインターフェースとして

- (i) UP/DOWN COUNTER : X, Y, ϕ 位置測定用
- (ii) D-A CONVERTER : X, Y, ϕ 制御電圧出力用
- (iii) 割込みスイッチ : 非常停止, 手動運転用

をもっており, さらに計測用の 16 ch A-D CONVERTER が設置されている。

この計算機は, X 台車上の空調付計算機室内に設置されており, ほとんどの制御はコンソールタイプライタから会話方式で行なえる。Y 台車との信号送受信はカーテンレール式のケーブルによって行なっている。

3 制御用ソフトウェア

(1) ソフトウェアシステムの機能と構成

制御用ソフトウェアの構成を Fig.1 に示す。全体で 15 KB のメモリを占有し, 容量 16 KB の上限に近い。本システムはリアルタイムモニタの下に管理されており, 各プログラムモジュールは, コンソールタイプライタの割込みキー, あるいはインターフェースパネルの割込みスイッチを押すことにより, 任意の順序に起動できる。

コンソールタイプライタの割込みキーを押すと GUIDE というモジュールが起動され, Fig.1 の左半分 of モジュールを選択できる。各モジュールはそれぞれ 3 文字のコードをもっており, それをタイプライタから入力することにより起動される。各モジュールの機能は下記のとおりである。

PARST : 台車軌道の原点, 半径, 模型の速度, 偏角の設定。

RUNMN : RUNSBにより台車制御の初期設定を行なったのち, 一定時間毎に RUNCN を起動する。

RUNCN : 制御の中核をなすもので次項に述べる。

RETRN : 実験終了後, 初期位置に台車をもどす。

PRINT : 計測結果をタイプライタ上に印刷する。

CALIB : 検力計の較正を行なうサービスプログラム

割込みスイッチからは MANCN が起動され, スイッチの選択により, 台車の停止, 徐動手動運転ができる。

(2) 台車制御方式 (RUNCN)

制御方式は X, Y, ϕ 方向についてパラメータは異なるが同じ制御方式をとっている。ブロックダイアグラムを Fig.2 に示す。

計算は RUNCN の中で行なわれ, RUNMN により ϕ 方向は 50 ms 毎, X, Y 方向は 100 ms 毎に起動される。RUNCN では, 台車の位置と模型の方位を UP/DOWN COUNTER から読みとり, それと指令位置とを比較し誤差に対して PID 制御の計算を行なう。このシステムの特徴は, 速度の指令値も正確に計算できるため, その値を基本ベースとして操作量に加算している点である。この方法により制御は大幅に改善されている。

計算された操作量は, D-A 変換器により電圧に変換され, 各操作部の任意外部入力端子へ送られる。

以上は 1 ステップ分の制御であり, これが終ると次のステップのための指令位置・速度を計算したのち, A-D 変換器により流体力の測定を行なって記憶する。以上のプロセスが全て完了すると RUNCN は休止状態に入り, 次の所定の時刻がきて RUNMN により起動されるまで待つ。

4 制御精度および計測結果

(1) 制御の精度

本システムによる制御の精度を, 誤差の標準偏差の形で Fig.3 に示す。X および Y 方向の偏差は半径が小さくなるにしたがい急激に増加する。これは台車の特性によるもので, 駆動操置を改良しないかぎり大幅な改善は望めない。しかし, 3m 模型で実験する場合, 最小半径は 5m 程度でよいとすれば, その範囲内では誤差が急増すると言っても 1% 以内である。

一方, ϕ 方向はあらゆる状態において非常に精度よく制御されており, 実験中誤差が 0.1° 以上になることはほとんどなかった。したがって標準偏差を計算することは無意味であるが, 機械的に計算した結果の範囲を示す

と Fig.3 のようになる。

以上のように、模型の姿勢の制御についてはほぼ満足すべき結果であるが、問題はむしろいかに滑らかに模型を曳航しているかという点であり、模型に加わる振動が大きいと慣性力ばかり計測していることになる。Fig.4 は 3m 模型を曳航中に模型の前後 2 点で計測した流体力の一例であるが、円周軌道に入った後の計測区間では、実用的には十分な安定がとれていると考える。実際の計測時にはこのデータをフィルタにかけ、その出力を 100 ms 毎に計測し数百回分の値の平均をとっている。

今後改良すべき点としては、台車の駆動装置の改善と共に、制御状態の悪い点でのデータを棄てる方法を考えるべきであろう。

(2) Series 60 による実験

本装置による実験結果の信頼性を確認するため、Series 60, $C_b=0.6$ の 3m 模型について実験を行ない、江田および Crane の実験⁴⁾と比較した。結果を無次元の形で Fig.5 および 6 に示す。

図中のプロットは実験点、実線は江田・Crane の微係数を用いた計算、鎖線は実験点を次式であてはめた値である。

$$Y = Y_0 + Y_v \cdot v + Y_r \cdot r + Y_{vvr} \cdot v^2 r + Y_{vrr} \cdot vr^2 + Y_{vvv} \cdot v^3 + Y_{rrr} \cdot r^3$$

$$N = N_0 + N_v \cdot v + N_r \cdot r + N_{vvr} \cdot v^2 r + N_{vrr} \cdot vr^2 + N_{vvv} \cdot v^3 + N_{rrr} \cdot r^3$$

多小パラツキが多いが傾向的にはよく一致していると言えるであろう。パラツキについては今後前節で述べた点について改良を重ねれば、ある程度おさえることができ、経験を積めば、本方法は十分実用に耐えるであろうという確信を得た。

5 結 論

X-Y 台車を制御し、模型を円周上の一部を通るように曳航することによって Rotating Arm と同等な操縦性実験を行なう方法を試みた。その結果、

1. 本方法の最大の目的である、半径の大きいときの実験については非常によい性能を示した。
2. 半径の小さい所では急速に精度が落ち、 $L/R=0.6$ すなわち 3m 模型を使用したとき $R=5m$ では 3cm 程度の誤差を生ずる。
3. 半径が小さいときの、より大きな問題としては、台車の進行方向が反転するとき振動を生ずることで、これを防ぐためには台車の特性の改善、あるいは条件が悪いときのデータを棄てるなどの対策が必要である。
4. 通常の Rotating Arm 実験と比較すると、任意に大半径のデータがとれるという利点の他に、実験が非常に容易になり、能率的な測定ができる。

という結論を得た。

X-Y 台車の制御による拘束模型試験としては、円周運動にかぎらず任意の運動をさせることが可能である。現システムでは指令位置の計算が簡単な円周運動に限っているが、最近磁気ドラム装置を入手できたので、あらかじめ指令位置を計算してドラムに記憶し、それを使用しながら制御を行なう方法に改造中である。

予定している曳航方法は

1. CMT (Circular Motion Test) : 円周の一部
2. HMT (Harmonic Motion Test) : 大振幅 PMM (30m)
3. TMT (Transient Motion Test) : 非線型 Transient Wave Test の操縦性版

などである。

結 言

本論で紹介したシステムは SR 154 部会の研究の一部として計画したものであり、同部会委員各位のご協力、ご助言の賜物である。とくに野本教授には航海性能水槽計画時よりこのシステムのようなものを試みることに付いて常にご示唆を戴いてきた。

制御プログラムの作成に当っては、東京大学大学院・森谷周行君および渡辺岩夫助手に多大のご協力を戴いた。また、ミニコンに対してほとんど知識のなかった我々に対し親切なご指導を戴いた富士通の各位、インターフェースの製作をお願いした野村電機の各位に改めてお礼申上げる。

参 考 文 献

- 1) 元良誠三他：東京大学航海性能試験水槽について（第1報），造船学会論文集，Vol. 128（1970）。
- 2) 元良誠三他：同上（第2報），造船学会論文集，Vol. 129（1971）。
- 3) T. Koyama and S. Motora : An Automatic Model Tracking System at the Maneuvering Tank of the University of Tokyo, 14th ITTC (1975).
- 4) H. Eda & C.L. Crane, Jr. : Steering Characteristics of Ships in Calm Sea and Waves, TSNAME, Vol. 73 (1965).

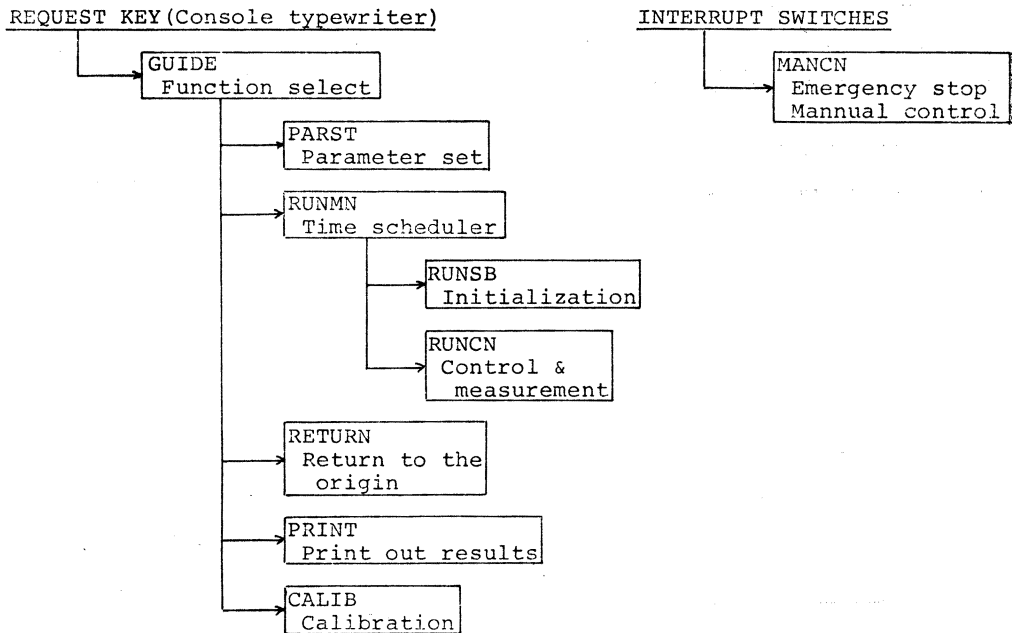


Fig.1 Software system for the Circular Motion Test

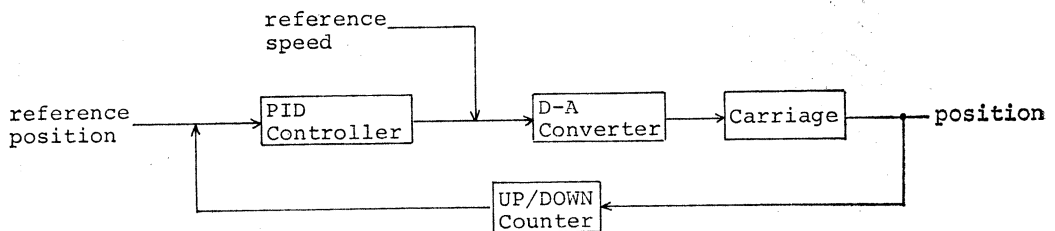


Fig.2 Block diagram of the carriage controller

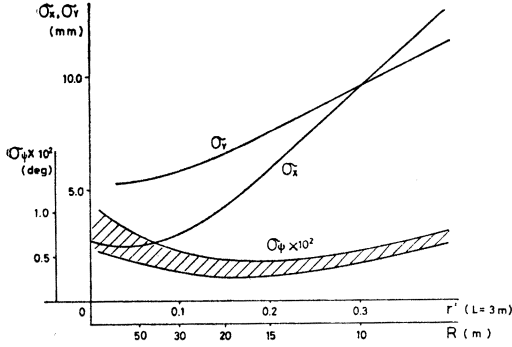


Fig. 3 Standard deviation of the control error

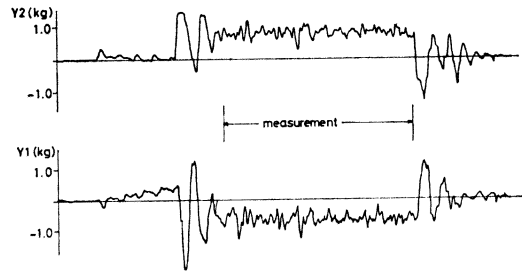


Fig. 4 Typical records of lateral forces during CMT

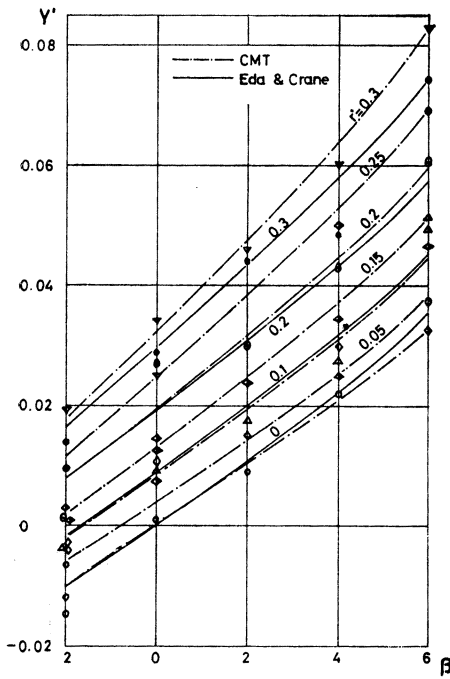


Fig. 5 Non-dimensional forces obtained by CMT

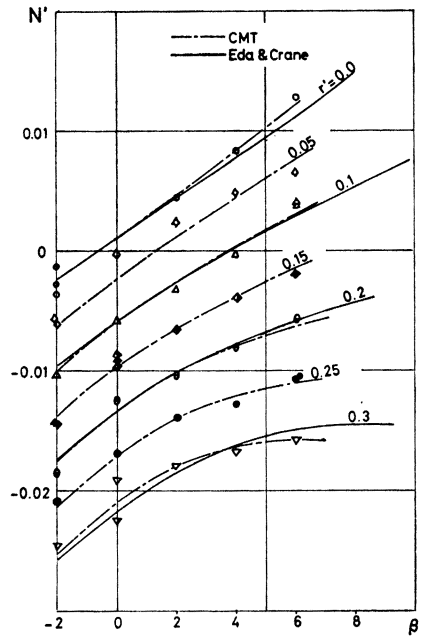
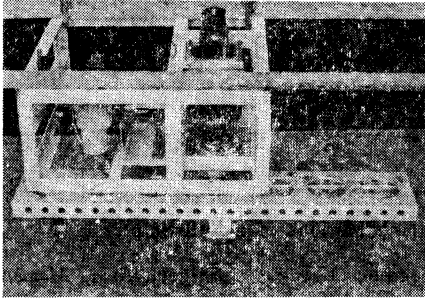
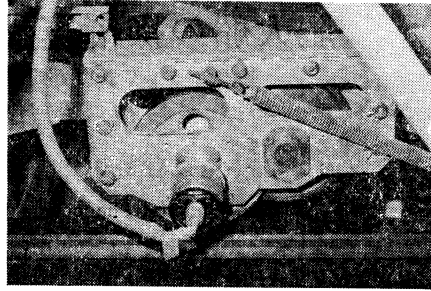


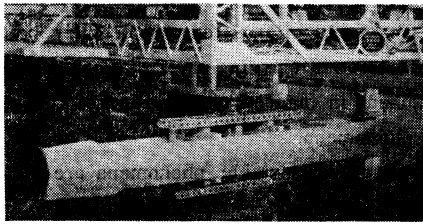
Fig. 6 Non-dimensional moments obtained by CMT



Picture 1 Model rotating device and dynamometer



Picture 2 Pulse generator for carriage's position



Picture 3 Series 60 model attached to the CMT system