

(昭和 46 年 5 月日本造船学会春季講演会において講演)

東京大学船舶航海性能試験水槽について (第 2 報)

正員 元 良 誠 三* 正員 小 山 健 夫*
 正員 藤 野 正 隆* 正員 前 田 久 明**
 正員 杉 田 松 次* 正員 小 柳 雅 志 郎*

On the New Seakeeping Basin of the University of Tokyo (Part 2)

by Seizo Matora, *Member* Takeo Koyama, *Member*
 Masataka Fujino, *Member* Hisaaki Maeda, *Member*
 Matsuji Sugita, *Member* Masashiro Koyanagi, *Member*

Summary

In the Part 1, arrangement of the new seakeeping basin, hydraulic wave maker and high speed towing carriage which were completed on March 1969, have been reported in detail. This part is devoted to describe main towing carriage and subcarriage built in 1970 fiscal year. The main towing carriage, of which the principal dimensions are 31.68 m in width, 8.050 m in length and 6.209 m in height, moves longitudinal way above the rectangular part of new basin and the subcarriage moves transverse way on this main carriage.

Accordingly by manual or automatic control of both carriages, it is possible to make the subcarriage pursue a free running ship model and always stay right above it. Therefore, it is very easy to supply electric power to a model running on water surface without any restriction of motion, or to receive electric signal from the model and record it on the subcarriage. Moreover by moving both carriages simultaneously, it is able to make a model ship advance obliquely to the direction of wave propagation, and to measure the hydrodynamic force acting on it or its motion in oblique waves.

1 緒 言

東京大学では昭和 43, 44 両年度にわたって標記水槽の建設を行なった。そのうち昭和 43 年度に建設された水槽本体, 上屋, 造波機および高速電車の概要については, すでに第 1 報として報告したので¹⁾, 引き続き昭和 44 年度に建設された主曳航電車および追跡電車について本報告に述べることとする。

主曳航電車はスパン 30.425 m の 50 kg レール上を角水槽 (50 m×30 m) の長手方向に動き, かつ主曳航電車上に敷設されたスパン 2.600 m の 30 kg レール上を追跡電車が主曳航電車の運動方向と直角の方向に動きうようになっている。したがって, 追跡電車は角水槽の水面上を自由に航走する模型船のほぼ直上に常にいるように追跡することができる。その結果, 模型船に必要な電力の供給を追跡電車から行なうことが可能であり, また模型船からの計測信号等も有線で追跡電車上ないしは主曳航電車の上に導き記録することができる。

このような主曳航電車と追跡電車については, 次のような運転方式を採用することができる。

(i) 直線走行運転 主曳航電車と追跡電車とを全く別個に直線走行させることができることはもちろんであるが, 両電車の速度比を一定にして同時走行させることにより全く勝手な方向に斜め走行させることができる。このような運転は主曳航電車上に設けられた両電車操作用の主操作盤上で, それぞれの電車の走行速度を設定し同時走行させれば実現できる。この斜め走行は主として, 電車に曳航されて斜波中を走行する模型船に加わる波

* 東京大学工学部船舶工学科

** 東京大学生産技術研究所

浪外力や斜波中での模型船の運動を計測することを目的としている。

(ii) 追跡運転 追跡電車が静水中あるいは波浪中を自航する模型船の直上に常にいるように主曳航電車および追跡電車を制御する運転方式で、これによれば模型船の航跡を XY レコーダー上に記録したり、模型船への電力の供給あるいは信号の受渡しをきわめて容易に行なえる。ただし波浪中の自航模型船を、この両電車のみで完全に追跡することは不可能であるから、追跡電車上に軽量の精密追跡装置を別個に設けて模型船を精密に追跡し、両電車はこの追跡装置の平均的な周波数の低い運動を追跡するように制御される。

(iii) 手動運転 追跡電車上に操縦桿を設け、これを人間が操作することにより両電車を勝手な方向に動かす運転法で、(ii)の追跡運転ほど精密な追跡動作が必要でない場合、あるいは精密追跡装置の追跡可能範囲を越えて模型船が運動することがあらかじめ予想される場合の追跡等を、この手動追跡運転によつて行なうことができる。

以上の運転方式のうち、いずれを選ぶかは主曳航電車上の主操作盤上の運転方式切換スイッチにより、単独走行運転・斜行運転・追跡運転のいずれかを選定することにより行なえる。

以下、主曳航電車、精密追跡装置、追跡電車の順に概略を説明する。

2 主曳航電車

主曳航電車の設計を進めていく前に、予想されたいくつかの問題点を検討した。そのうち主なものを列挙しよう。

(i) 限られた 50 m×30 m の水面をできるかぎり有効に利用するには、電車の進行方向の長さを極力短くしたいのであるが、スパンが 30.425 m と長いあまり短くすると走行中に蛇行を起すのではないか。

(ii) 自航模型を追跡する場合には、通常の一方向に走行する曳航電車と異なり、短時間に進行方向を変える操作が可能でなければならない。この意味からは電車の構造はなるべく軽構造とし、限られた駆動電動機の出力内で十分の応答性を確保したい。

(iii) 計測信号の周波数よりも少なくとも 1 桁高いところに、構造物としての固有振動数をもつていきたい。すなわち通常の計測中に遭遇する最高周波数は約 1.8~2.0 cps であるので、固有振動数は上下方向、水平方向ともに 20 cps 以上にしたい。一方、簡単な計算により、この固有振動数の要求を満たす剛性をもつならば、追跡電車の走行・主曳航電車の加減速時の外力・塔載重量物等による主曳航電車の撓み等は計測に支障をきたすことはないと確かめられたので、構造強度の面では主として固有振動数を高くするように配慮すればよいことがわかった。

以上の問題点に対する対策として (i) については、角水槽北側の主レール側にのみガイドローラーを取付けるが、蛇行を防ぐ意味からガイドローラーの心距をできるだけ大きくとるために、北側のコンソールの長さを 7.0 m とし南側コンソールの長さ 5.8 m より長くして、北側コンソールの外側に心距 7.34 m でガイドローラーを取付けることにした。しかし、4 個の駆動輪の負荷は均等にするために駆動輪の配置は電車の中心線に対して対称とした。その結果、駆動輪の軸間距離は南北両コンソールとも 5.0 m とし、さらに駆動直流電動機 (9.0 kW, 300 rpm) 4 台の負荷および出力も均等化するために駆動電源に対して、4 台を並列に接続している。なお南側の駆動輪は北側よりも 30 mm 幅が広い 90 mm 幅とし、万一の蛇行やレールスパンの変動等による脱輪にそなえるとともに、南側にも転落防止用補助ガイドローラー (通常はレールに接触していない) を取付けた。

(ii) に対しては、SCR 速度制御方式の特性から一台の制御盤では滑らかな折返し走行は期待できないので、全く同じ SCR 速度制御盤を 2 組搭載し正逆の進行方向に対して 1 組ずつの速度制御をかけ、瞬時に主曳航電車が折返すことができるようにした。このことは追跡電車についても全く同様である。

以上のような点に関して特に考慮を払って主曳航電車を設計したわけであるが、その構造は主として形鋼を用いて組立てたコンソール部を、パイプとボックスガーターから成るブリッジ部でつないで 1 体としたトラス構造である (Fig. 1, 2)。主曳航電車の主要目および概略の性能等を Table 1 にまとめた。主曳航電車自体は南北コンソール部の長さがすこし異なるだけで、ほとんど左右対称であり、かつ異なるコンソール部の重量の差も電車自体の全重量と比較するとほとんど無視できるほど小さいものである。重心はほぼ中央にあり、さらに主曳航電車および追跡電車駆動用のサイリスタ変換装置・指令器盤・台車駆動盤・励磁電源等の制御盤も南北コンソール部の上に振りわけて重量の均等化をはかっている。4 個の駆動輪にかかる静荷重も等しい。

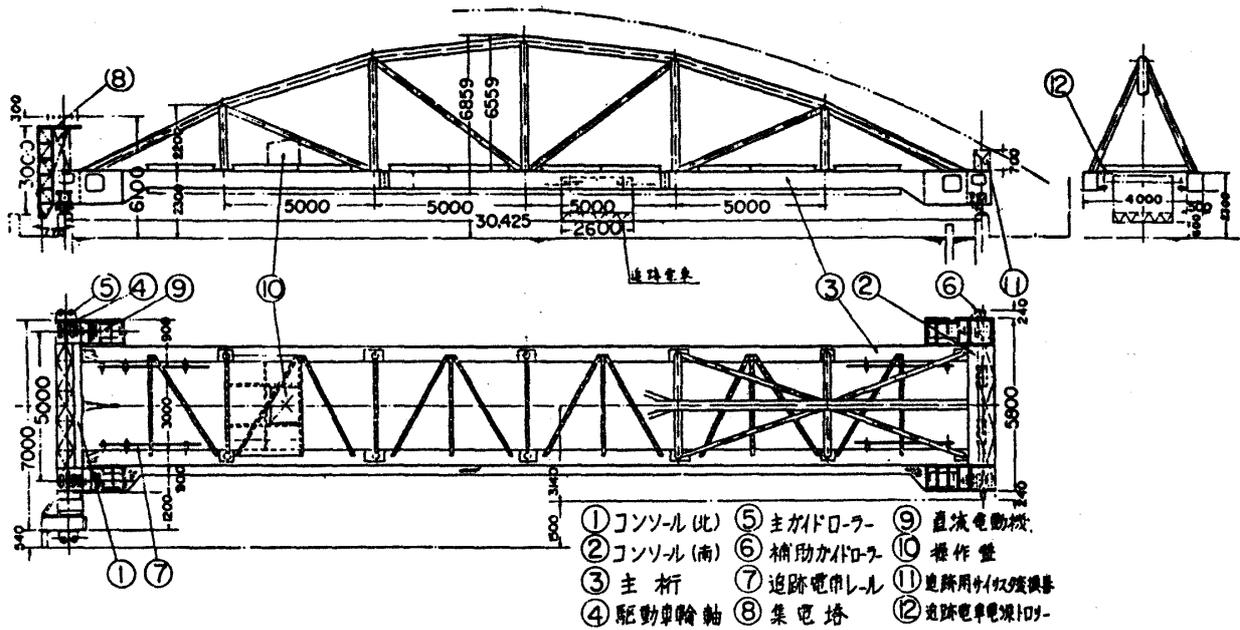


Fig. 1 主曳航電車の概略図

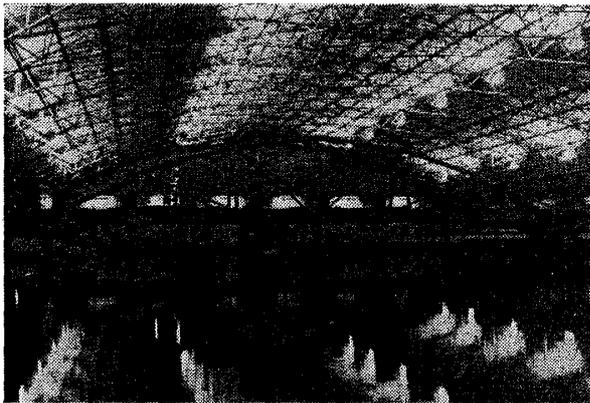


Fig. 2 主曳航電車の概観

このように設計された主曳航電車の固有振動数を計算したところ、上下方向に関しては約 7.9 cps、水平方向については約 6.7 cps で、(iii) に述べた希望周波数よりかなり低いが、これ以上固有振動数を高くするために剛性をますと、極端に電車の重量がふえ追跡運行を行なう際の制御の面から好ましくないので、本設計で妥協することにした。完成後上下方向について固有振動数を計測したところ約 7.74 cps で、ほぼ設計通りの振動数は確保できた。

主曳航電車への電源は、駆動用 3 相交流 220 V、計測用単相 100 V で、その供給は高速電車と共用の 5 本の剛体トrolleyで行なっている。実験中の計測はほとんど追跡電車上で行なうように設計されているので、主曳航電車上には計測のための区画はとっておらず、人間が常時居るのは両電車の動作を操作する主操作盤周囲の床部だけである。この操作床には主曳航電車および追跡電車を同時に制御できる主操作盤がある。この操作盤は主曳航電車・追跡電車をそれぞれ全く切離して運転できるように、両電車に対する同一の機能をもつ操作部を 2 組持っている。このように両電車を別個に制御するには、主操作盤上の運転方式切換スイッチによって、単独運転・斜行運転・追跡運転のうち最初の単独運転方式を選択することにより行なえる (Fig. 3)。なお、もうすこし詳しく云えば単独運転というのは、両電車を同時に運転することができないというのではなく、制御をそれぞれ独立に行なうということで、単独運転でも両電車をそれぞれ特定の速度で運転することはできるから、後に述べる斜行運転も可能である。

運転方式のうち第二の斜行運転は、厳密に言えば定角度斜行運転のことである。斜行運転そのものは、上述の

Table 1 主曳航電車の主要目と概略の性能

電車本体	
全長	8,050 mm
全幅	31,684 mm
全高	6,209 mm
水面より主横桁下面までの距離	1,700 mm
全重量	37.6 トン
電車駆動部および概略の性能	
駆動電動機	9.0 kW, 300 rpm, 30 分定格 4 台
駆動輪	直径 600 mm × 4, 車輪軸間隔 5,000 mm
減速	ハスバ歯車 1 段減速, 減速比 21/110
速度範囲	0.09 ~ 1.80 m/sec, ただし手動運転時の最大速度は 1.0 m/sec
加減速度範囲	0.02 g ~ 0.06 g
速度制御	SCR レオナード定速度制御

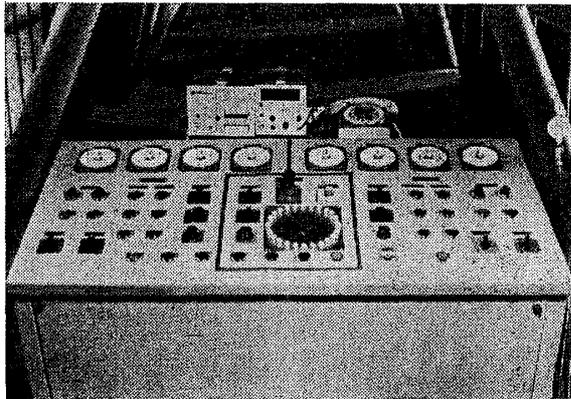


Fig. 3 主操作盤

合速度の設定精度は通常の単独運転と同程度である。設定角度あるいは設定合速度の精度を検定するために実際に斜行したときの両電車の速度を別々に計測した結果から、斜行角および合速度を求めた結果を Table 2 にまとめた。この表で斜行角 0° は静止している主曳航電船上を追跡電車が南側 (50 m 造波板の方向) に向つて走行する場合をいい、斜行角 180° は追跡電車が北側に向つて走行する場合である。したがつて、斜行角 90°, 270° の場合は追跡電車が走行せず、主曳航電車のみが走行する。さて、検定の結果斜行角については、90° または 270°

Table 2 斜行運転の検定

[I] 設定斜行角の検定 (設定合速度 1,000 m/sec)

設定斜行角	実測斜行角	実測合速度 (m/sec)
15°	14°50'	0.9925
195°	194°51'	1.0120
30°	30°25'	0.9856
210°	209°47'	1.0105
45°	45°28'	0.9903
225°	224°48'	1.0033
60°	60°53'	0.9918
240°	240°11'	0.9964
75°	76°08'	0.9986
255°	255°40'	0.9980

[II] 設定合速度の検定 (設定斜行角 45°, 225°)

設定合速度 (m/sec)	実測合速度	実測斜行角
0.200 (45°)	0.1963	46°57'
0.200 (225°)	0.2031	227°35'
0.400 (45°)	0.3999	46°10'
0.400 (225°)	0.4087	225°59'
0.600 (45°)	0.6056	45°50'
0.600 (225°)	0.6162	225°22'
0.800 (45°)	0.8061	45°36'
0.800 (225°)	0.8121	225°24'
1.200 (45°)	1.1907	45°19'
1.200 (225°)	1.2042	224°40'

単独運転でも両電車の速度を、希望する斜行角になるように設定すれば実現できるわけであるが、この方法では合速度の大きさあるいは方向を全く任意に変えたい場合には、両電車の設定速度を決めるのに最小限、数表をひき簡単な計算を行なわねばならない。そこで定角度斜行運転では 0°~360° を 15° ずつに等分して計 24 の定角度を予じめ設定しておき、必要に応じてそのうちのいずれかの斜行角をロータリースイッチにて選び定角度斜行を行なうようにしてある。この定角度斜行での合速度の設定は単独運転の場合と同様の設定ダイヤルによつて容易に行なえ、単独運転方式で斜行するときのように両電車の分速度をそれぞれに設定する必要がなくなる。この

に近い角度——主曳航電車の分速度が追跡電車の分速度より大きい——ほど設定斜行角の誤差が大きいことが判る。この誤差は主曳航電車と追跡電車の速度特性が完全には同一でないために起つていると思われる。設定斜行角と実測斜行角との間の誤差は、いわゆる定常誤差のようである。このことは、設定方位角を 45° または 225° に固定して合速度の大きさを変えてみた (II) の場合の実測斜行角と設定斜行角との誤差の現われ方に顕著に見られる。いずれにしろ検定の結果、合速度が 0.2 m/sec のような低速度の場合を除けば、実用上実測斜行角は設定斜行角に等しいといえよう。また斜行中の直線からの偏倚も実用上差つかえないほど十分小さいことが上述の計測から明らかとなつている。

追跡運転というのは基本的には、単独運転では速度指令を速度設定ダイヤルによつて行なつているのに対し、外部よりなんらかの方法によつて速度指令

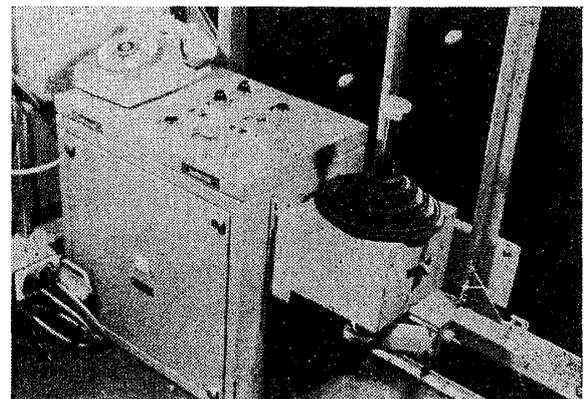


Fig. 4 手動運転用操縦桿

信号を両電車に与えて運転する方式である。その意味では文字通りの追跡運転のほか手動運転もこの範疇に入る。すなわち主曳航電車および追跡電車への指令信号を作る2個のポテンシオメーターの軸を、操縦桿を前後左右に動かすことによつて回転させ両電車への指令信号を作り出し、これを主操作盤の外部指令信号端子に入れればよい。この手動運転用の操縦桿は追跡電車上にあり、追跡電車上にいる運転手はそのレバーを倒すと、倒した方向に応じた主曳航電車と追跡電車の分速度が決定され、その方向に追跡電車が水面上を動くことになる (Fig. 4)。また合速度の大きさは操縦桿の倒し量に比例する。このように手動運転では操縦桿の操作によつて両電車への指令信号をとりだしているのに対し、これを自動的に行なうことも当然できるわけである。この目的のために今回2種類の追跡装置を製作し、その発生する位置信号を自動追跡運転の指令信号として利用している。

主曳航電車の速度制御は、駆動輪とは別個に設けられた速度検出用車輪の回転速度をアナログ電圧でとり出して制御する、いわゆるアナログ速度制御方式によつている。一方、走行中の実測速度も上述のアナログ電圧から換算して求めるのではなく、やはり速度表示用の車輪を別に設けて、この車輪軸の回転を光学的パルス発生装置に伝え、それが発生するパルスを一定時間数えて、速度をデジタル表示する方式をとつている。また制動方式は通常の走行時の電気制動のほか、緊急用として車輪軸と直結に制動輪 (直径 360 mm, 輪幅 90 mm) を設け、これをアスベストを用いたブレーキシューで締めつけて制動する方式をとり、レールを直接ブレーキシューではさみつける方法はレール保護のため用いなかつた。このような制動輪は4個の駆動輪に1個ずつ取付けてあり、その駆動源は空気圧である。

このほか主な機装品としては、ブリッジ部西側ボックスガードの下面に1トンチェーンブロック用モノレール (200×100 I型鋼) 1本、南北両コンソールをつなぐ歩廊 (エキスパンドメタル使用)、主ガイドローラー・補助ガイドローラーの外側4個所にレールクリーナーおよびストッパー、追跡電車用パuffer (可縮量 400 mm) 2個所、水槽底作業用梯子 (取はずし可能) 等がある。

3 精密追跡装置

(i) 受動型精密追跡装置 本装置は単独に使用しても6方向運動計測装置として使える機能をもつもので、追跡電車上に設置して使用する。大凡の構造は Fig. 5, 6 に示したように、アルミ形鋼にて外枠 (長さ 1100 mm, 幅 800 mm, 深さ 250 mm) を作りそれに2本の x 方向ガイドシャフトを設けて、そのシャフトを非常に摩擦の少ないテフロンローラーで上下からはさみ、 y 方向のガイドシャフトを兼ねた x 方向に動く枠組をつくる。この y 方向ガイドシャフト上を同じようなテフロンローラーで動くブロックを作り、このブロックに上下方向 (z 方向) の運動をとり出す、長さ 450 mm の主桿をとりつける。この主桿は模型のピッチ角・ロール角・ヨー角を検出するジンバル部を介して模型船にとりつけられる。各方向の機械的な自由度は、 x 方向 1070 mm, y 方向 850 mm, z 方向 300 mm であり、また各方向の運動検出には、ピッチ・ロール・ヨーは1回転型ロートルクポテンシオメーター (トルク 3g-cm) を、サージ・スウェイ・ヒープには10回転型ポテンシオメーターを用いている。それぞれの

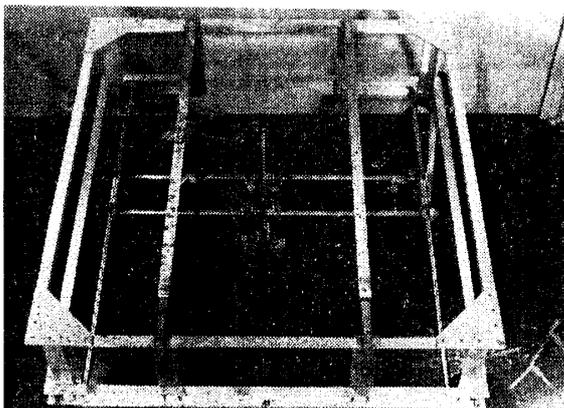


Fig. 5 受動型精密追跡装置の概観

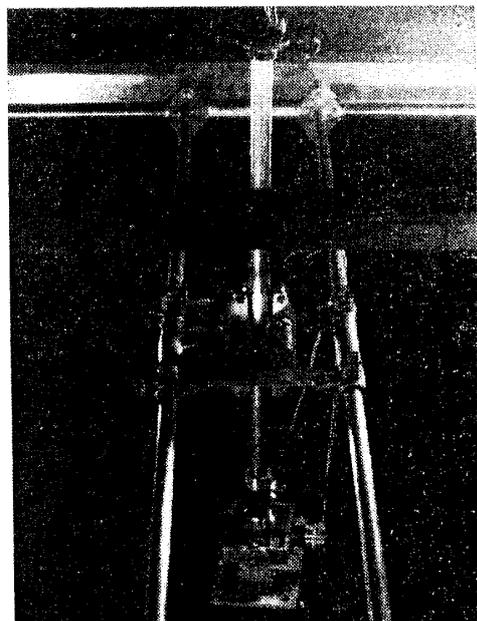


Fig. 6 受動型精密追跡装置の主桿

Table 3 受動型精密追跡装置の測定範囲

ピッチ角	$\pm 20^\circ$
ロール角	$\pm 60^\circ$
ヨー角	350°
サージ変位量	850 mm
スウェイ変位量	850 mm
ヒープ変位量	300 mm

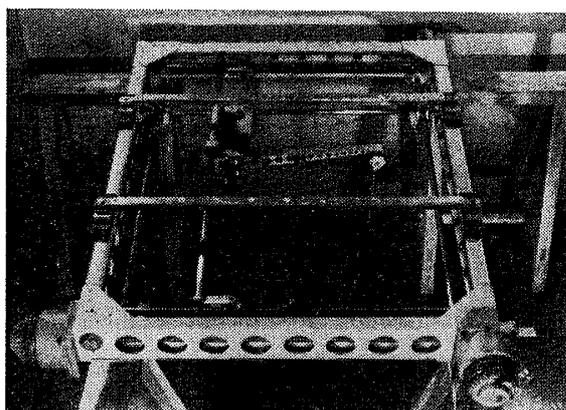


Fig. 7 能動型精密追跡装置の概観

300 mm の角度検出桿が 2 組のジンバルを介して鉛直下方にさがり、その下端は模型船の重心位置に拘束される。模型船の重心が xy 平面内で移動すると、この桿の下端も自由に x 方向あるいは y 方向に移動することができる。したがって検出桿は、その上端を通る鉛直線に対してある角度をもつことになる。この角度を 2 個のマイクロソニにて別々に検出すれば、 x 方向あるいは y 方向の重心移動量を電気的アナログ量でとり出すことができ、これを用いて追跡ブロックが模型船の重心の直上にあるように制御する。さらに、追跡ブロックから水平の腕を出し、その腕の先端からも角度検出桿を降ろして、その下端を模型船の船体中心線上で重心より前方 330 mm のところで拘束する。模型船の方位角が変化すると、この検出桿の下端はその方向に動くので重心位置の変化を検出したときと同様に、検出桿の上端に取付けられたマイクロソニにて方位角変化を電気量に変換して取り出すことができる。この電気量をサーボモーター（出力 0.35 W）の操作信号として利用すれば、水平腕を常に船体中心線方向に一致させることができる。

本装置を自動追跡運転に利用する場合も受動型精密追跡装置の場合と同様、 xy 平面上を運動する追跡ブロックの、外枠の中心に対する位置をポテンシオメーターで検出しこれを主曳航電車および追跡電車駆動用の操作信号として利用し自動追跡するのである。(i), (ii) いずれの精密追跡装置も当初の目的は、静水面上での操縦性試験のように運動周波数の非常に低い現象に対して自動追跡するように考慮されており、波浪中での運動のような高周波数の運動にまでも完全に追従させることは、主曳航電車・追跡電車の大きな慣性、駆動電動機の容量か

方向の測定範囲は Table 3 に示しておいた。

以上のような仕様をもつ 6 方向運動計測装置を自動追跡装置として使用するには、鉛直下方に垂れ下つた主桿の xy 平面上の中心からの変位をとりだして、主桿の x 方向変位あるいは y 方向変位をそれぞれ主曳航電車または追跡電車への指令信号として利用し、主桿が xy 平面上の中心に常にあるように制御すればよい。

(ii) 能動型精密追跡装置 受動型精密追跡装置では、極力機械的摩擦を少なくしているとはいえ、模型船の自由な運動をある程度は拘束し、真の運動変位を検出することはできない。この欠点を補うために、模型船の重心位置および方位角をサーボ機構を用いて能動的に追跡する装置をも同時に製作した。概観を Fig. 7, 8, 9 に示したが、その大凡の大きさは長さ 1,350 mm, 幅 1,100 mm で、通常の XY レコーダーと同様に x 方向および y 方向の位置を制御する 2 台のサーボモーター（出力 100 W）によつて、模型船追跡ブロックがコントロールされる。このブロックからは長さ

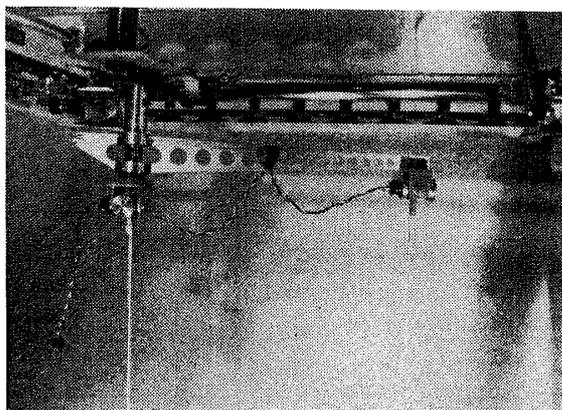


Fig. 8 能動型精密追跡装置の角度検出桿

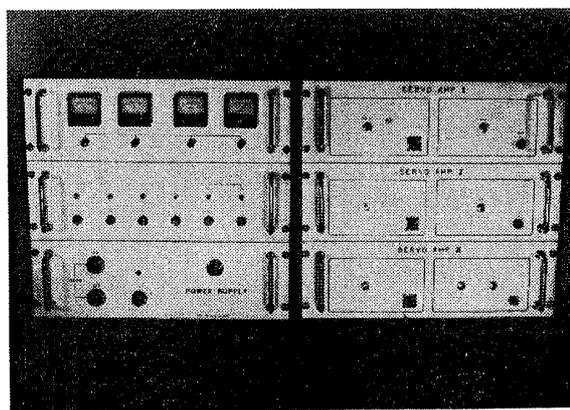


Fig. 9 能動型精密追跡用サーボ増幅器

ら極めて困難であると予想されたので、とりあえず考えていない。しかし、時々刻々の模型船の位置は、別個に計測されている主曳航電車および追跡電車の位置に、上記精密追跡装置により計測された位置を電気的アナログ量で加減算することにより容易に求められる。

4 追 跡 電 車

主曳航電車上に設けられたスパン 2,600 mm のレール上を、主曳航電車の進行方向と直角方向に走行する追跡電車が十分その性能を発揮することが、本水槽の機能を完全に実現する上のキーポイントであることは、すでに十分述べたとおりである。追跡電車は、水槽上を航走する模型船への電力の供給・計測信号の受渡し等を行なつたり、あるいは模型船を拘束して波浪中で模型船に加わる波浪外力を計測したりするので、狭い水面を十分に活用するには必要最小限の大きさに押える必要があった。また主曳航電車にとっては、追跡電車は動荷重であるので、主曳航電車の限られた構造強度で十分な剛性を保つためや計測に有害な振動の発生を防止する面からも極力重量を押えた。Table 4 に追跡電車の主要目とその概略の性能を示した (Fig. 10, 11)。電車本体は軽量形鋼を主体に組立てられた、完全な箱型である。床面は長さ 2,400 mm×幅 2,000 mm で、その約半分がいわゆる計測床、残り半分には内径 1,200 mm の円形計測レールを設けた。この円形レールには上述の精密追跡装置を取付けたり、模型船の船首方位を任意に変えられる模型船取付台を介して、波浪中の 6 分力計測用動力計などを載せることができる。

Table 4 追跡電車の主要目と概略の性能

電車本体		
全 長		2,950 mm
全 幅		2,798 mm
全 高		1,645 mm
電車下面から水面までの高さ		600 mm
全 重 量		1.2 トン
電車駆動部および概略の性能		
駆動電動機	1.1 kW, 1,150 rpm, 30 分定格	2 台
駆 動 輪	直径 150 mm×4, 車輪軸間隔 2,190 mm	
減 速	ハスバ歯車 1 段減速, 減速比 22/110	
速度範囲	0.09~1.80 m/sec, ただし手動運転時の最大速度は 1.0 m/sec	
加減速度範囲	0.02 g~0.08 g	
速度制御	SCR レオナード定速度制御	

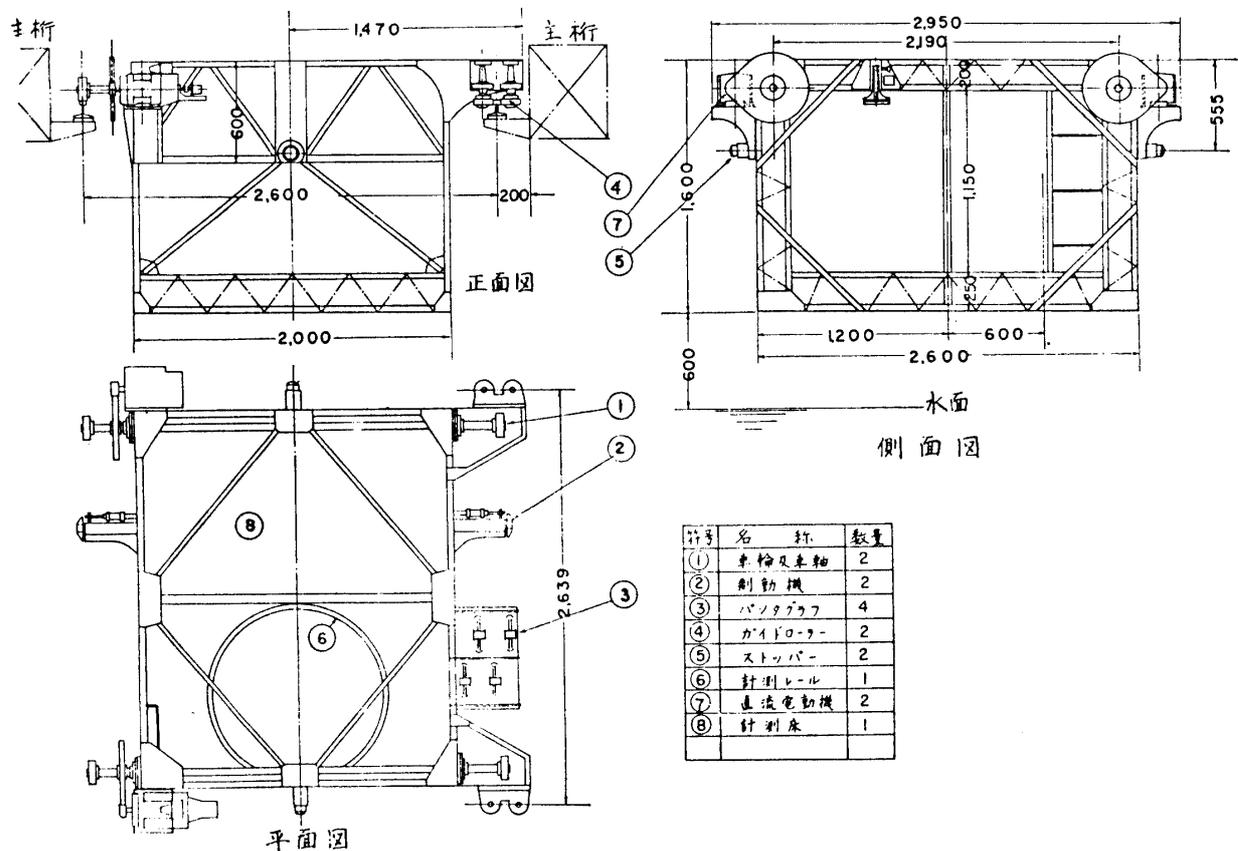


Fig. 10 追跡電車の概略図

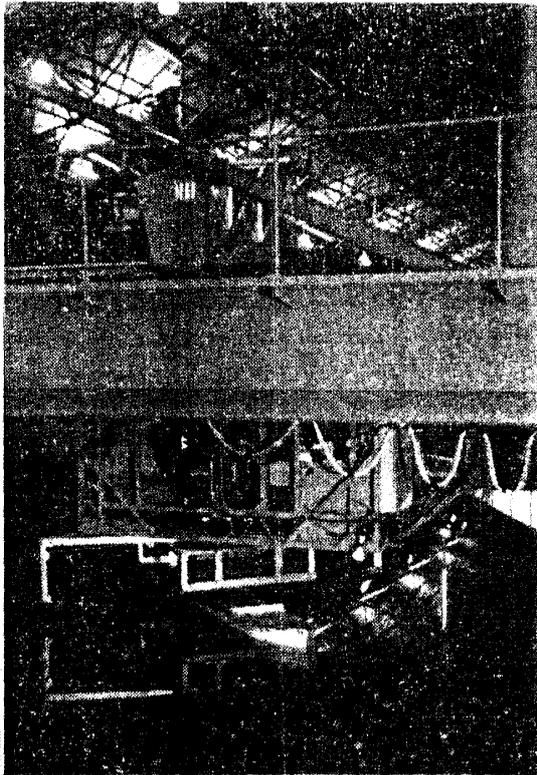


Fig. 11 追跡電車の概観

当な場所に固定する際の固縛装置としても利用できる。

4輪駆動ではあるが、前部2輪・後部2輪はそれぞれ同一の軸で結ばれ、それらの駆動軸は1台ずつの直流電動機(1.1kW, 1,150rpm)で駆動されている。このクラスの電動機では回転数が高いため、0.09~1.8m/secの比較的低い速度範囲で十分その力量を発揮させるには、いきおい駆動輪の径は小さくせざるをえず、直径は150mmとなった。

手動追跡の際を除いては、追跡電車の操縦はすべて主曳航電車上の主操作盤にて行なうので、手動追跡に用いる操縦棒・運転方式切換スイッチおよび非常停止用押釦等を除いては追跡電車上には運転関係の操作盤はなく、できるかぎり計測床を広く使えるようにした。追跡電車への配線は計測用AC100V2本、主曳航電車上の追跡電車駆動盤と駆動電動機との間の配線2本、計4本を剛体トロリーとしたほかは、すべて可撓式トロリーとしそれには繰返しの折曲げにも強い特殊な細い電線を用いた。

速度制御方式は主曳航電車と同様、アナログ制御とし突測速度の表示も同様のデジタル表示方式を用いた。

制動は通常の電気制動のほか緊急停止用として、油圧駆動によってレールを直接ブレーキシューで握む方式を採用した。この緊急制動装置は、追跡電車を水槽水面上の適

結 言

具体的に本水槽の建設計画を立案しはじめてから約3年、当初の予定どおり昭和45年3月末に水槽本体および上屋の施設、主曳航電車・追跡電車・高速電車・造波機等の設備等が完成するまでに、数多くの方々から甚大なご助力をいただいた。とくに本水槽の計画にあたっては日本造船学会水槽委員会第2部会の諸氏並びに東京大学田宮、乾、田古里各教授、加藤助教授、伊田助手の諸氏から貴重なご教示を、また設計製作にあたられた安川電機(株)、九機(株)両社には多大のご協力をいただいた。ここに深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 元良誠三, 小山健夫, 藤野正隆, 伊田 力, 小柳雅志郎: 東京大学船舶航海性能試験水槽について (第1報) 日本造船学会論文集, 第128号, 1970