(昭和 50 年 5 月日本造船学会春季講演会において講演)

IHI 運動性能水槽について

正員 田 崎 亮* 正員 梶 田 悦 司*
 正員 深 瀬 彊* 正員 田 中 久 仁 雄*
 正員 田 中 厚 成*

On the IHI Seakeeping and Manoeuvring Tank

by Ryo Tasaki, *Member* Etsuji Kajita, *Member*
 Tsutomu Fukase, *Member* Kunio Tanaka, *Member*
 Atsushige Tanaka, *Member*

Summary

A new experimental tank for seakeeping and manoeuvring tests has been completed at Yokohama Research Institute of Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd. The tank is 70 m×30 m in effective area and 3.0 m in water depth. The tank has a carriage system which consists of a main carriage, sub-carriage and turning table. The main carriage laid across the span of 32.6 m moves lengthwise and a sub-carriage pendent from the main carriage moves breadthwise. One of the features of the tank is that the sub-carriage has a turning table 3.0 m in diameter, the motion of which is controlled synchronously with those of the main and sub-carriage.

The control systems of the carriage are set in the control room on the shore, and the powers and signals for controlling the carriages are supplied with special cable hanging apparatuses (cable bear).

The carriage systems follow automatically a model running freely with the aid of X-Y analyzer without any contacts.

The newly developed hydraulic actuators are applied for the wavemakers. They are called electro-hydraulic step cylinder, and the ports of which are controlled digitally with incremental pulse signals.

1 緒 言

石川島播磨重工業(株)では、昭和 47 年以来耐航性能試験および操縦性能試験を主目的とした運動性能水槽を横浜研究所内に建設中であったが、この程その主要部分を完成したのでここにその概要について報告する。この種の水槽は、国内では既に東京大学や三菱重工(株)において建設されており、概要についても発表されている^{1,2)}。近年船舶の肥大化、 L/B の減少等がますます進むにつれて操縦性能試験の重要度が増大し、一方波浪中における推進、運動、強度等の研究、試験の必要性が強くなったため、従来の船型試験水槽のみでは到底そのすべてを満足させることは困難となり、当社においても目的に適った広い水面を持つ水槽の建設が計画されたものである。すなわち、従来の船型試験水槽においては、設備上の制約もあって主として縦波中の運動、および比較的小振幅の強制動揺試験が行われて来たが、耐航性の面においてはさらに斜波中の推進、運動から重畳波中の問題等についての試験、操縦性においては自航模型による試験の精度向上、強制動揺試験、強制旋回試験等が必要となり、技術上可能な限り、これらの試験に対する機能を備えた新水槽が建設された次第である。このように予想された試験の種類はきわめて多岐にわたったため、曳引車をはじめとする主要設備の仕様は、かなり幅の広いものであると同時に厳しいものとなり、とりわけ曳引車はそれ自体が模型船の位置、速度、力等の基準となる操縦性能試験におけ

* 石川島播磨重工業(株)技術研究所 船型部

る巨大な計測装置であるという考え方に立って計画された。

以下水槽および付帯設備のあらましについて述べる。

2 水槽および建屋

2.1 一般配置

水槽の規模は、従来船型試験水槽で行なわれていた操縦性試験，耐航性試験に使用されていた計測器の容量，互換性等を考慮し，また敷地，予算等の制約もあって必要最小限のものにとどめた。使用模型船は 2.5~4m を標準として考え，特に自航模型船については曳引車上で制御，計測，記録等を行なうと同時に，曳引車を使用して比較的短距離で加速することを考え水槽の長さを 70m とした。幅および水深はそれぞれ 30m および 3m である。水槽は作業能率，精密機器の保全のため建屋内に設置されており空調設備を付帯している。

30m 辺と 70m 辺にはそれぞれフラップ型の造波装置を備え，その対面はビーチ型の消波装置となっている。造波装置としては当初サーベント式のものを計画し，模型による予備実験を行なったが，波面を円滑にするためには分割個数の点で予算も莫大なものとなるため，全体を一体として動作させることとし，前記のものとなった。

造波装置は室内の有効面積を確保するため床下に設置されており，各辺の消波装置の前面には可動式のゲート（蓋）をつけてある。このゲートは 1 個が 3.5m ユニットで床下に設置されたウインチによって各辺 1 個所から開閉が可能であるように計画された。

水槽の南側には準備水路，トリミングタンクがあり，準備水路は自航模型船の調整等の際に水面に近い位置から作業できるように床面より 1 段低くなっている。トリミングタンクは締切ゲートによりドライドックとして使用できるようになっており，1 日の試験終了後，模型船をそのまま置いておく場合や，試験中にも次の試験のための準備，調整等が可能であって非常に便利である。

水槽の水（約 9,000 m³）は，建屋の外部に設置されている汙過装置によって試験終了後から翌朝までの間，汙過循環され，常時水を清浄に保つと同時に水槽内を攪拌することによって水温分布の不均一をなくする効果がある³⁾。本水槽の例では，水面下 0.3m と 1.5m の点において静止時に水温差約 7°C あったものが汙過装置を夜間のみ運転して，約 10 日間で 0.5°C 以内となり実用上ほとんど均一な温度分布となった。

水槽の 70m の 2 辺には，スパン 32.6m で長さ約 80m にわたってレールが敷設してあり，この上を主曳引車が長手方向に走行する。曳引車については後述するが，主曳引車下部を横行する副曳引車があり，さらに副曳引車内には回転円板があって回転円板上の計測レールに固定された模型船に水槽平面内で回転を伴った任意の 2

Fig. 1 The Plan of the Tank

Fig. 2 The Section of the Tank

次元運動を与えることが可能である。走行レールの西側には中2階式の中央指令室があり、曳引車の制御用機器はすべてこの指令室内に納められている。これは船型試験水槽での経験から精密な電子装置が水面上にあることは保全上好ましくないこと、および曳引車の装備重量を軽くする目的で恐らく水槽としては初めて採用した方式であろう。中央指令室と曳引車との間の電力および信号の授受はすべて有線ケーブルで行なわれ、そのためのケーブル（約600本）を格納する装置（ケーブルベア）が各走行レールの上部（建屋天井）に懸架されている。

水槽建屋に付帯して模型準備室、計測器調整室、空調機械室、造波装置駆動用の油圧源室等が設置されている。水槽内の平面図および断面図を Fig. 1 および Fig. 2 に示す。

2.2 水槽基礎、本体および建屋

本水槽を建設した場所は、船型試験水槽に隣接した埋立地内であり、地盤は旧海底まで約2~3m、その下は所々に砂層をはさむシルト層より成り支持層としては泥岩盤である。泥岩盤層の N 値は50以上で深さは地表より約10~25m、平均20m程度であるが、ボーリングの結果はば水槽の中央部を斜めに走る深い谷があり、水槽の建設地として適している場所ではなかった。そのため基礎工事には特に念を入れ、支持杭の本数、基礎の構造等に万全を期した。すなわち、先づ直径350φのコンクリートパイルを岩盤まで3.5m間隔で縦横に打ち、特に造波装置基礎やレール支持の基礎部分には1~2m間隔で密に打って群杭効果を持たせ、合計約520本の支持杭で支えられた構造となっている。さらにこの支持杭の上に深さ1mの格子状の地中梁があり、水槽はその上に乗せられた恰好になっている。水槽本体は鉄筋コンクリート製で一体構造であり今回特にエクspansィョン、ジョイントは設けていない。本体コンクリートにはベストンを混合して防水性を持たせ、さらに外側をバンデックスにより防水した。内面は防水モルタル仕上げで底面は浅水影響の試験等の場合を考えて平面度 ± 2 mm程度の仕上げを行なった。また本体が完成した所で水槽に水を張り、外側から漏水検査の結果漏水の発見された所はすべて再度防水工事を終了したあとで埋戻しを行なった。このため漏水に関しては現在ほとんど問題がなく、初期設計時の対策の効果が確認できた。

建屋基礎は水槽基礎および本体とは無関係に独立しており、各柱の所で2本ずつの支持杭により支えられている。建屋骨材は形鋼で外装はスレート、内装はフレキシブルボードの2重張りとし、間に岩綿ウールを詰めて保温、防温の目的を持たせた。

以上の他、水槽本体や建屋の経年的変化をチェックするため、外部に独立杭を打ち計測の基準水準点を設けた。これは岩盤層まで直径400φの鋼管杭を打ち、その中にさらに250のH鋼を打ったもので、両者の間には砂を詰め経年変化による圧密沈下やネガティブフリクションによる沈下が起こらないような構造とした。この標点を基準にして今後レールの計測等を行なうことにより、水槽の絶対的な変形をも知ることができるので、きわめて信頼性の高いレールの維持ができるものと期待している。

2.3 レール基礎およびレール

前述のように水槽の70m辺に主曳引車走行用のレールが敷設されている。東側は造波装置の連結桿がレールより約1m下を貫通しており貫通孔周辺の応力集中が心配であったが、検討の結果特に問題はなかった。西側は消波装置との関係上、ビーム上を通す構造となり、ビームは鉄筋コンクリート製、高さ1.1mで下端の鉄筋を特に増してあり、3.5m毎の支柱壁により支持されている。船型試験水槽の場合はレールチェアの設置を容易にするため、H鋼を埋設したが⁴⁾、コンクリート施工上の問題が難しく特に今回のようにビームとして使用する場合は施工上の欠陥が致命的となる恐れがあるためH鋼の埋設はやめ、かわりに厚さ45mmのベースプレートを各

チェアの下に置き、レベルを設定後無収縮コンクリート（タスコン）を打つ方法をとった。ベースプレートの設置レベルは $\pm 0.5 \text{ mm}$ でチェアの調整には特に問題とはならなかった。チェア間隔は 500 mm で、レールは国鉄の 60 kg レール (60.8 kg/m) を 1 本約 9 m に切り、上下面および側面を切削加工して使用した。上面および側面の加工精度は研削で粗さ 3 S 、下面は 12.5 S である。チェアは船型試験水槽で使用したスフェリカルレベリングブロックが最も理想的なものであるが⁴⁾、製作費が高価であり、今回は左右一對のウェッジを用いた船舶技術研究所第 2、第 3 水槽に似た構造のものを採用した^{5,6)}。上下および傾斜の調整は傾斜 $1/6$ のウェッジで行ない、左右調整は押しボルトによるが、押しボルトの位置が常にレール面の真横に来るよう工夫してある。

Fig. 3 Rail Chair Setting

Fig. 4 An Example of Rail Check

レール接続の方法は継目板を使用し、ウェッジで締め付けた後、継目板を溶接する通常の方法である。走行レールチェアの略図を Fig. 3 に示す。さらに主曳引車上には副曳引車のための横行レールがあるが、同要領で加工された国鉄の 37 kg A レールを使用している。横行レールの設定については曳引車の項に後述する。

走行レールの真直度および水平度の設定値と検査方法についてまとめたものを Table 1 に示す。Table 1 に示すように真直度の計測には芯出顕微鏡を使用し、また水平度の計測を長スパン（チェア 15 個毎で 7.5 m ）と短スパン（各チェア毎）に分けて計測したことにより、検査精度および調整の能率を相当向上させることができた。電気傾斜計はいわゆる 2 点連鎖法による傾斜読取角から高低差への積分計算を自動的にこなす機構を内蔵しており、各チェア上を順次移動させて行くだけで積分結果の高低位置が記録される。西側レール（チェア 1 番より 20 番まで）の記録例を Fig. 4 に示した。長スパンでの精度 0.2 mm と、短スパンでの精度 0.08 mm/m の関係については、船型試験水槽建設時に検討された文献⁷⁾によったのでここでは省略する。

3 曳 引 車

3.1 機構部および駆動部

曳引車は主曳引車と副曳引車より成り、互いに直角方向に運動することによって副曳引車は水槽全平面内の 2 次元運動をすることが可能であるが、さらに副曳引車内には回転円板があって、計測レールはこの回転円板に取付けられており主、副曳引車の運動と回転円板の回転運動は同期するように制御されているので、模型船を運動の接線方向または任意の迎角をもった状態で運動させることができる。

設計に当っては、主、副曳引車の桁の剛性を上げることに主眼を置いた。主桁はパイプトラスとボックスガーダーの組合わせとしたが、剛性を上げるためにはトラスの接点部分の構造に最も注意した。すなわち、通常よく使用されるボールジョイント、またはブラケットによる間接的な接合は、接点における角変位が割合大きく、撓

Table 1 Accuracy of Rail Setting

	主曳引車用レール		副曳引車用レール		計 測 方 法
	西側(基準側)	東 側	北 側	南側(基準側)	
真 直 度	0.2 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.2 mm	芯出顕微鏡, ピアノ線 (0.3 mm)
平 面 度	0.2 mm 0.08 mm/m	0.2 mm 0.08 mm/m	0.2 mm (マイクロメーターによる)	0.2 mm (マイクロメーターによる)	1) 長スパン, マイクロメーター (7.5m毎) 2) 短スパン, 電気傾斜計 (各チェア上)
上面の傾斜	$\pm 0.1 \text{ mm/m}$	$\pm 0.1 \text{ mm/m}$	$\pm 0.1 \text{ mm/m}$	$\pm 0.1 \text{ mm/m}$	各チェア上, 電気傾斜計

みも多くなる。従って限られたトラス高さと撓みを小さくするには接点の剛性を上げる方が有利であり、撓み計算も接点を固着ジョイントとして行なったので、計算の仮定に近くするという意味でもなるべく剛になるように心掛けた。すなわち、各パイプ同志をできるだけ接着し、かつ切り込みを入れてブラケットをパイプの内側に貫通させる構造とした。この方法は工作法が非常に面倒であるので工数も増し、重量も重くなるという欠点はあるが計算結果の信頼度は高くなる。

副曳引車は主桁上から懸垂されているので力の作用点(計測ルール)と支点(車輪)間の距離が長く、一方運転や実験のために副曳引車内からの見通しを良くしたいという希望があるので、水平方向の強度に苦心したが、結局上部はボックスガダー、下部はシェル構造とし、壁も強度メンバーとして考えられる構造とした。

この結果曳引車全体はかなり剛な構造にはなったが、一方で重量もかなり増加したため固有振動数には余り寄与しなかった。重量は主曳引車が約 77 トン、副曳引車が約 10 トンである (Fig. 2 および 5 参照)。

曳引車のガイドローラーは基準ルール側のみ設けられているが曳引車の起動時、停止時等の最大加速度に対し十分な強度をもたせるため、2 輪 1 対のボギー式としルールとの間隔は極力小さく 0.05 mm 程度に設定してある。副曳引車の横行ルールは主桁の内側に設置されているが副曳引車の重量による主桁の撓み分だけ、すなわち副曳引車が横方向の各点に移動した時の撓み曲線の包絡線の分だけ逆キャンバーをとって設置した。副曳引車が主桁中央にきたときの最大撓み量は約 3 mm で、横行中の測定部の水平に対する上下は計測範囲で ± 0.2 mm 以内である。

副曳引車内の回転円板は下面および円周を各 8 個のベアリングにより支持され、円周には直接ギヤを切っておりモーターピニオンと噛み合っている。

主曳引車の駆動系は四輪独立で、それぞれを 22 kW の電動機で駆動している。曳引車全体の重心位置はほぼ中央 (約 250 mm 西) にあり、4 輪の荷重の不均衡は 1 トン以内で無視できるが、むしろ副曳引車の横行による荷重の変化の方が大きく、これに対してはモータフィールドに負荷に応じた電流を流すことで回転数の低下を補償している。

副曳引車は 2 輪を 1 軸として 2 個の 5.5 kW 電動機により駆動している。減速ギヤは主曳引車が 1/15.9 の 2 段減速、副曳引車が 1/5.7 の 1 段減速である。2 段減速の場合バックラッシュの大きさに最も注意を払い、非常に厳しい仕様ではあったが入出力軸の間で 5/1,000 ラジアンを達成した。Table 2 に曳引車の主要目をまとめた。

2.1 に述べたように本曳引車は駆動用の制御装置はほとんど地上に降ろし、曳引車上には計測用の電源トラン

Fig. 5 General View of the Carriage

Table 2 Principal Particulars of the Carriage

	主 曳 引 車	副 曳 引 車	回 転 円 板
車 輪 ゲ ー ジ (m)	6.90	4.30	—
車 輪 ス パ ン (m)	32.60	4.40	—
高 さ (m)	7,200 (ルールよりトラス迄)	2,670 (ルールより下面迄)	0.760 (標準水面迄)
ガイドローラー間距離 (m)	8,400	2,860	3,090 (円板外径)
車 輪 径 (mm)	940	250	—
電 動 機 出 力 (kW)	22×4	5.5×2	1.5×2
電 動 機 回 転 数 (定格) (rpm)	660	900	3,000
減 速 比	1/15.95 (2 段減速)	1/5.77 (1 段減速)	1/483 (2 段減速)
重 量 (t)	77.5	10.5 (円板含)	—
速 度 (m/s) (rpm)	0~2.0	0~2.0	0~5 (rpm)
加 速 度 (g)	0.01~0.06	0.01~0.06	—

Fig. 6 Principle of the Cable-bear

移動距離の $L/2$ の長さを持つ 2 組のケーブルが Fig. 6 に示すように組合わされており、両端のドラムによって送られながら、曳引車の速度の半分の速度で移動するように設計されたケーブル保持装置である。ケーブルベアの抵抗変動は直接曳引車の外乱として作用するため、懸架用のレールおよびケーブル支持用のローラーの製作には特に注意した結果、懸念された支障はなく十分実用に耐え得ることが分かった。

3.2 制御装置および制御性能

主、副曳引車および回転円板は基本的にはデジタル方式で制御されており、比例制御部分、積分制御部分および微分制御部分から成り立っている。すなわち、デジタルで作られた指令信号に対して比例制御部分では、モーターに直結したタコジェネレーターからの帰還信号との差を誤差信号として速度制御を行ない、また積分制御部分では、制御装置内で発生する一定周波数のパルス列のパルス毎に速度指令値を加算し、タッチローラーからの帰還パルスのパルス毎に制御装置内で発生する一定値を減算する積分回路によって、指令の移動量と実際の移動量との差に比例した数値を連続的に発生し、これを積分制御用の誤差信号とする。積分制御は曳引車の位置の制御に用いられている。またその上さらに制御系全体の特性を安定にするため、微分制御を行なっている。回転円板の制御は、位置（角度）制御の部分に比例制御を使用し、また主、副曳引車、回転円板は演算の遅れを考慮して指令信号を先行させる一種の予測制御を行なっているのが特色である。上記の比例、積分、微分制御と一連の誤差検出回路には安川電機製作所の DFM 50 をベースとした専用ハードウェアが使用されている。DFM 50 については文献 2) にも紹介があるのでここでは重複を避ける。

主曳引車の駆動電動機は副曳引車の移動による負荷変動が大きいため、東側、西側のそれぞれ 2 台は直列接続とし、東西は並列接続とした直列並列接続方式で、負荷変動に対しては東西それぞれのブロックでの界磁電流により補償制御している。主回路の制御方式は主、副曳引車および回転円板共、十字結線方式の可逆サイリスタ静止レオナードで特に速度零付近の不感帯性能を向上させるために循環電流を流している。

主、曳引車の減速機のバックラッシュについては前項に述べたが、回転円板の場合には 2 台のミナーシャモーターでトルク零付近では互いに逆トルクを掛け、そのトルク差によって駆動するよう電氣的にカバーしたため、事実上バックラッシュに相当するガタはほとんど零である。

調整の最終段階では、制御系全体として、位置、速度、加速度の誤差の 2 乗平均が最小になるような考え方で調整された。

運転用操作盤は中央指令室と副曳引車上の 2 箇所があり、そのどちらからでも操作できるようにした。ただし安全のために主切換スイッチは先取り制で、両方同時に生きることはない。曳引車の運転モードの代表的なものは、操作盤上で簡単に設定できるようにし、紙テープによっても設定できるようになっている。それ以外のモードについては外部入力端子よりアナログ指定が可能である。

代表的運転モードは下記の 6 種類である。

- (1) 主、副曳引車または回転円板の単独運転
- (2) 斜行運転（円板方向一定）
- (3) 旋回運転または円弧運転（円板方向同期）
- (4) 正弦運転（円板方向同期）
 - i) 接線速度一定 ii) 主曳引車速度一定
- (5) 変針運転
- (6) 追跡運転
 - i) 手動追跡 ii) 自動追跡

(1)～(5)までの運転モードについては、ドリフト角を任意に設定できるが、さらに(4)の場合はドリフト角を正弦状に変化させることが可能である。また、パラメーターの設定を行なったあとは通常の運転ボタンの操作の

スと運転操作盤および必要最小限な分電盤のみを搭載した。そのため、電源、制御信号、計測信号等はすべて有線でケーブルにより曳引車上または中央指令室に供給されている。曳引車の動作に対してケーブルを円滑に移動させるため、主、副曳引車共各 2 基のケーブルベアを設置している。ケーブルベアは、ほぼ曳引車

みで自動運転に入るが、(6)の手動追跡運転の場合は、操縦桿の傾斜方向により進行方向が、また傾斜角度により主、副曳引車の合成速度が設定されるようになっている。プログラム運転から手動追跡運転へ切替えた瞬間は曳引車速度が不連続になる可能性があるため、操縦桿は逆にサーボ機構によって初期速度の位置まで自動的に倒れるように設計されている。

自動追跡運転は完全に無接触で行なわれる。これは従来振動計測やロケット等の変位計測に使用されていたX-Yアナライザーを応用したもので、テレビカメラによって900mm×900mmの範囲内を走査させ、模型船内の光点(ターゲット)の位置をX方向、Y方向の電圧として取り出せるようになっている。自動追跡に入ると、この信号が曳引車へフィードバックされ、位置誤差として修正される。ターゲットの位置は曳引車の位置にテレビカメラで求められた相対位置を重ね合わせて絶対位置とし、プリンターによって打ち出される。テレビカメラのサンプリングレートは60Hz、分解能はフルスケールの約1/500であり、設計上は2mm程度の精度で模型船の位置が求められる。なおこの精度はカメラのレンズにより決まるのでさらに狭い範囲で追跡が可能であることが分かれば、長焦点レンズを使うことにより半分程度とすることも可能であると思われる。

運転モードがかなり複雑な場合は、試験中にブレーキゾーン(自動設定)に入ることや、パラメーターの設定にミスがあること等が考えられ、運転の安全を期するために別にシミュレーターを設置した。シミュレーターでは、設定された条件に対する回転円板中心の軌跡が中央指令室または副曳引車上のブラウン管にグラフィックに表示され、同時に各表示計器は走行時と同じ値を表示するようになっている。ディスプレイは実時間の他、最大8倍まで時間軸を上げて表示することができる。

ブレーキシステムは、ノンタクトリミットスイッチによる通常の自動停止の他、非常停止用としてレールをはさむ形式の油圧ブレーキを備え、レール終端にはオイルバッファーを設けている。油圧ブレーキの油圧、バッファーの位置等は運転ボタンとインターロックされており正常でないとき発進できないように安全を期している。インターロックはその他、各出入口、地上の障害物等に対しても監視する機能を持たせた。

以上本水槽の曳引車のあらましについて述べたが、斜行走行と旋回走行について試運転結果の一例を示す。Fig. 7は速度1m/sの場合の10°, 30°, 45°, 75°における斜行走行の軌跡の例である。位置誤差はほとんど数mm以内に納まっている。Fig. 8, 9はそれぞれ円周速度1m/sで半径3mおよび300mの場合の旋回運動を行なった時の軌跡であり、○印は第1周目、×印は第2周目を示している。最も厳しい条件である半径3mの場合は、最大10mm程度の誤差が見られたが、300mの場合は誤差はほとんど2mm以内であり、曲率が小さくなる程良いようである。Fig. 8に対応する旋回時の軌跡の設定円に対する誤差を半径の無次元値で示したものがFig. 10であるが、速度が零となる近傍($n\pi/2$)での不感帯を含めても、誤差は最大0.4~5%以内に納まっている。Fig. 11は同じくFig. 8の軌跡から計算で求めた接線角と回転円板から検出した角度の差を表わしたものである。

Fig. 7 An Example of Locus of the Center of Turning Table (Oblique)

Fig. 8 An Example of Locus of the Center of Turning Table (Turning; $R=3.0m$)

Fig. 9 An Example of Locus of the Center of Turning Table (Turning ; $R=300\text{ m}$)

Fig. 10 An Example of Error of Radius ($R=3.0\text{ m}$)

Fig. 11 An Example of Error of Direction ($R=3.0\text{ m}$)

が、この場合は回転円板の予測制御の調整によって正方向に偏っている誤差を零付近に持って来ることは可能である。この場合誤差の最大値は $\pm 0.2^\circ$ 程度である。

なお詳細な試運転結果については、後刻報告する機会があるものと思う。

4 造 波 装 置

造波装置の配置については2.1に述べたように水槽の30m 辺, 70m 辺にそれぞれフラップ型のものが設置

Table 3 Principal Particulars of Wavemaker

	30m 辺造波装置	70m 辺造波装置
造 波 機 型 式	フラップ式	
幅	30m (10m × 3 基)	70m (10m × 7 基)
フラップ 深 さ	1,500m	
フラップ 厚 さ	0.300m	
波 長	0.5~12.0m	
最 大 波 高	0.4m	
アクチュエーター (駆動弁)	IHI ステップシリンダー	
	3 基	7 基
最大スラスト	2 t (1 基当り)	
最大ストローク	$\pm 285\text{ mm}$ (造波板上端)	
最大速度	900 mm/s (造波板上端)	
油 圧 源	主 電 動 機	200 kW-6 P-50 Hz-6,000 V 450 kW-6 P-50 Hz-6,000 V
	主油圧ポンプ	型式 可変容量型アキシャルプランジャープンプ
	リリーフ設定圧力	150 kg/cm ²
	設定吐出量	550 l/min × 1 (at 150 kg/cm ²) 640 l/min × 2 (at 150 kg/cm ²)

されている。各辺の造波装置はそれぞれ 10m 単位のもの 3 台, 7 台から構成されており全体で一体となって作動するように考えられた (Fig. 1 参照)。Table 3 に造波装置および油圧源の主要目をまとめておいた。これら造波装置の操作はすべて中央指令室から遠隔操作で行なわれ、さらに油圧源起動後は副曳引車上から周波数、振幅の定数設定と発停の操作が可能になっている。Fig. 12 は造波装置機構部の断面を示したものである。背面の間隔については文献 2), 8) 等で紹介されたような新しい方法もあるが、このためには静水圧をバランスさせるために大きな力が必要となり、制御装置の負担も大きくなるので、ここでは東大

Fig. 12 The Wavemaker Setting

の例¹⁾ にならって注水式とし、背面の同調周期を短くするために間隔をできるだけ詰めることとした。また造波板背面で横方向の定常波の発生を防ぐために造波板および水槽壁に互いに交互の位置に阻止板を設けた。この阻止板の効果は非常に顕著であり、通常の試験周波数の範囲ではほとんど支障となるような定常波は発生せず、北側では水槽壁がかなり低いにも拘らず、溢水等はほとんどない。造波板背面の間隔の決定に当っては東京大学

航海性能水槽で圧力分布の計測等について予備実験をさせて戴くなどの多大な便宜を図って戴いた。また背面の水位の上下によって造波板の両側および下部から水が出入し、波面に影響を与えるので、周辺は水の出入をとめる程度のシールを行なった。

この程度の造波装置の駆動に関しては、すでに数多くの実績があるが、各水槽共、最近では電動油圧のサーボ弁制御方式が採用されることが多い。しかしながら本装置のように複数台の造波装置を同時にしかも同期させて運転しようとする場合には、構造上で固定する方法を除けば、サーボ弁を用いるには制御の周波数特性および初期位相を完全に一致させることが必要となり、アナログ制御でこれを実現することは非常に困難である。このような考えから、今回は同期運転が比較的容易であると考えられるデジタル制御方式を採用することとし、当社で新しく開発した電気-油圧ステップシリンダー⁹⁾を応用することとした。これは電気パルスモーターの制御性能の良さを油圧を使用して大馬力の範囲まで拡張しようとしたもので、造波装置に応用したのは初めての試みである。

電気-油圧ステップシリンダーの機能を簡単に説明すると、パルス数を機械的量に変換するために電気パルスモーターを使用する一方、シリンダーロッドの変位をボールネジを用いることにより回転運動に変換し、両者の差動出力によってシリンダー駆動用の油圧バルブの油量を制御すれば、シリンダーロッドの位置をパルス数に比例させることができるというものである (Fig. 13 参照)。このようなアクチュエーターを使用することにより造波板の変位に対応したパルス列を各シリンダーに送るだけでオープンループ制御で比較的容易に複数の造波装置を同期させて運転することが可能である。

ただ不規則波信号等は、従来の造波装置と共通に扱えた方が便利であるためアナログ入力に残し、電圧-周波数変換を行ない、周波数の変化に対応したパルスを発生させるパルス発生装置を考案し制御盤に組込む形とした。

制御装置は 30m 辺、70m 辺の造波装置に対しそれぞれ別個に設置されており、単独運転、同時運転、および同一入力での同期運転等が可能である。

Fig. 13 Principle of the Step-Cylinder

5 結 言

本水槽を建設するに当たって、数多くの貴重なご教示を賜った東京大学元良教授はじめ航海性能水槽の方々、船舶技術研究所の方々および三菱重工長崎研究所の耐航性能水槽の方々に厚くお礼申し上げます。また建設計画にご支持、ご協力戴きました当社真藤社長をはじめ船舶事業本部の方々、水槽建設および設備の製作に関してお世話になった土建部、運搬機鉄構事業部、制御システム技術室、工事グループの方々その他にも深甚の謝意を表します。また建設に当たってご助力を仰いだ当社松平技術部長はじめ業務部の方々、特に身を削って私共を助けて戴いた運動性能グループの方々に深く感謝いたします。

なお本水槽の主要工事を担当された下記各社の関係者の方々にも謝意を表します。

水槽および建屋工事	(株式会社大本組)
同 設 計	(西村建築設計事務所)
建屋空調工事	(東芝冷暖房株式会社)
曳引車 (設計、製作)	(当社および石川島造船化工機株式会社、東横車輛株式会社、山十産業株式会社)
同 制 御 装 置	(株式会社安川電機製作所、安川工事株式会社)
追 跡 装 置	(浜松テレビ株式会社)
造波装置 (設計、製作)	(当社および帝人製機株式会社)
同 制 御 装 置	(当社)
レール加工工事	(当社および池貝鉄工株式会社)
曳引車および造波装置、組立、据付工事	
レール敷設、調整工事	(日室工業株式会社、施設部)
計 測 機 器 類	(電子工業株式会社、三真製作所、株式会社森技術研究所)

参 考 文 献

- 1) 元良誠三 他：東京大学船舶航海性能試験水槽について（第1報），造船学会論文集，第128号，昭45年11月，p.213～，および（第2報），造船学会論文集，第129号，昭46年5月，p.103～.
 - 2) 谷口 中，藤井 斉：三菱重工長崎研究所耐航性能水槽について，西部造船会々報，第45号，昭47年10月，p.131～.
 - 3) 神中竜雄：抵抗試験法，抵抗推進シンポジウム，昭43年6月，p.18.
 - 4) 寺尾貞一 他：IHI 船型試験水槽について，造船学会論文集，第121号，昭42年6月，p.72～.
 - 5) 推進性能部：三鷹第2船舶試験水槽の建設について，船舶技術研究所報告，第6巻，第4号，昭44年，p.130.
 - 6) 推進性能部：三鷹第3船舶試験水槽の建設について，船舶技術研究所報告，第10巻，第6号，昭48年6月，p.307～309.
 - 7) 杉浦守彦：高精度長大平面の精密計測，石川島播磨技報，第7巻，第34号，昭42年3月，p.122.
 - 8) 谷口 中，葛西宏直：A new Flap-type Wave Maker without Water on Back Side，造船学会論文集，第132号，昭47年12月，p.129～.
 - 9) 制御システム技術部：電気-油圧ステップシリンダ IHI-SC の概要，石川島播磨技報，第14巻，第5号，昭49年9月，p.601～.
-