

実海域再現水槽

谷澤 克治*、上野 道雄*、田口 晴邦*、藤原 敏文*
宮崎 英樹*、沢田 博史*、塚田 吉昭*

The Actual Sea Model Basin

by

Katsuji TANIZAWA, Michio UENO, Harukuni TAGUCHI,
Toshifumi FUJIWARA, Hideki MIYAZAKI,
Hiroshi SAWADA and Yoshiaki TSUKADA

Abstract

The actual Sea Model Basin is the world's most advanced indoor facility for the simulation of actual sea environment such as wind and waves. This article is the exposition of this new facility constructed in National Maritime Research Institute and completed at the end of August 2010. The length, width and depth of the basin are 80m, 40m and 4.5m, respectively. Total 382 segmented flap-type absorbing wave makers are installed on all periphery of the basin. By numerical control of individual segments, realistic wave field of the actual seas can be reproduced in the basin. For the model test, three degree of freedom towing carriage is available. The main carriage, which rail span is 41m, travels up to 3.5m/s, and the sub-carriage installed below the main-carriage runs up to 3.0m/s. The turntable is equipped on the sub-carriage. In addition to multifunctional towing capability, auto-tracking function is available for free running tests in waves. For wind generation, removable blowers are available. Fluctuating wind up to 10m/s can be generated. The control system of the basin has two layers of the basic system. The lower layer is the local control system of the wave makers, towing carriages and the wind generators. The upper layer is the central control system of the lower layers. Using the central control system, all functions of this basin are controlled synchronously. As a result, accuracy and reproducibility are achieved in very high level.

Specifications, dimensions and functions of the actual sea model basin are explained in this paper in detail.

* 流体性能評価系

原稿受付 平成23年2月4日

審査日 平成23年3月10日

目 次

1. はじめに	2	7.1 計画	32
1.1 実海域再現水槽建造の背景	3	7.2 試験装置の概要	32
1.2 求められている機能・性能	4	7.2.1 波浪中抵抗計測装置	32
2. 実海域再現水槽の概要	5	7.2.2 自航試験装置	33
2.1 水槽本体	5	7.2.3 大型波力測定装置	33
2.2 造波装置	6	7.2.4 波力測定装置	34
2.3 曳引台車	6	7.2.5 4自由度波浪外力計測装置	34
2.4 送風機	6	7.2.6 自動追尾用試験クランプ装置	34
3. 水槽本体	7	7.2.7 模型船位置計測システム	34
3.1 基本寸法	7	7.2.8 転動式慣動半径計測装置	35
3.2 構造・強度等	7	8. 水槽施設制御システム	35
3.3 トリミングタンク	7	8.1 概要	35
3.4 給水設備ならびに濾過装置	12	8.2 制御項目	35
3.5 実験準備場	12	8.3 個々の装置の状態表示	35
3.6 水槽建家	12	8.4 曳引台車の設定	36
4. 曳引台車	14	8.5 造波装置の設定	36
4.1 構造・強度	14	8.6 送風装置の設定	36
4.2 軌条	14	8.7 タイミングチャート	36
4.3 駆動装置と走行性能	15	8.8 実験の開始	37
4.4 運転モード	15	8.9 まとめ	37
4.5 実験・計測	17	9. 今後の展望	37
4.6 運転例	18	9.1 新たに可能となる実験および計測	37
4.7 付属設備	19	9.2 活用分野と期待される成果	38
4.8 まとめ	19	10. おわりに	38
5. 造波装置	20	謝 辞	39
5.1 装置構成	20	参考文献	40
5.1.1 造波板配置	20		
5.1.2 造波板及び周辺機材	20		
5.1.3 駆動装置	22		
5.1.4 制御盤	22		
5.1.5 操作盤・台車上操作器等	22		
5.2 吸収造波機能	23		
5.2.1 制御モード及び吸収性能	23		
5.2.2 造波信号生成・制御機能	23		
5.3 ソフトウェア	24		
5.4 操作方法	24		
5.5 造波例	25		
5.5.1 実海域波浪場の再現	25		
5.5.2 文字造波	26		
5.6 まとめ	26		
6. 送風機	26		
6.1 はじめに	26		
6.2 送風機仕様とシステム構成	26		
6.3 送風機の操作	31		
6.4 送風機の風速性能	32		
6.5 まとめ	32		
7. 試験装置	32		

1. はじめに

実海域再現水槽は、長さ 80m、幅 40m、水深 4.5m の国内最大の角水槽である。フラップ型吸収造波機を全周に 382 台備えているのが最大の特徴で、この造波機により実海域の波浪場を水槽内に再現することができる。また、本水槽には水槽内の任意の軌道上を自由に曳航できるレール間長 40.5m の 3 自由度曳引台車(XY Ψ 曳引台車)や、変動風を発生できる 8m 幅の送風機が備わっており、船舶の実海域での 3 つの基本性能：推進性能、耐航性能、操縦性能を評価するための種々の試験研究を実施することができる。海上技術安全研究所（以下当所）の三鷹第一試験水槽¹⁾（通称、80m 角水槽）跡地に建造する計画で、平成 18 年度から 5 年計画で予算化され、平成 18 年 11 月に着工、平成 22 年 8 月に竣工した(図-1.1)。本稿はその本格稼働に当り、本水槽を広く社会に紹介するための解説記事として執筆するものである。冒頭では、実海域再現水槽を建造するに至った背景と社会ニーズについて説明する。

1.1 実海域再現水槽建造の背景

船舶は湾内、港内等の一部の平水域を除き、波・風の影響を受ける実海域で運用されている。それにもかかわらず、その性能はこれまで平水中で評価されて来た。これは、実海域において船舶が遭遇する波浪を正確に計測することが困難であることや、波浪中での性能を評価するための信頼性の高い指標が整備されていなかったことによる。また、水槽試験においても長水槽における平水中での抵抗・自航試験法が確立されており、発注者に平水中での性能を保証する造船所の商習慣が定着していることも、実海域性能評価への移行を躊躇う要因となっている。しかし、化石燃料の枯渇の懸念から重油価格が高騰すると、経済的な観点から省エネ船が求められるようになり、実海域において真に性能の良い船が必要となってきた。加えて、大気中のCO₂濃度上昇による地球温暖化が明らかになるにつれて、船舶からのCO₂排出にも衆目が集まり、環境問題の観点からも大幅な省エネ船が求められるようになって来ている。平水中で性能の良い船が必ずしも実海域でも高性能を発揮するとは限らないことから、船社の要求は船舶が実際に運用されている実海域での性能向上に移行して来ており、今後この要求は増々切実なものになると考えられる。船舶の実海域性能の評価に対するニーズが高まると、実海域波浪場中での抵抗・自航試験法が必要となり、新たな水槽試験技術の開発が不可欠となって来ている。

さらに、地球温暖化に伴う巨大台風の発生等の異常気象により、実海域では荒天時の平均風速ならびに有義波高が増加する傾向にあると言われており、今後も地球温暖化が進むと船舶の安全性が脅かされる恐れが生じている。まだ、科学的に十

分解明されていないが、Freak波（波高が有義波高の2倍を超える巨大波のことで異常波の一つ）や三角波の発生頻度の上昇も船舶の安全を脅かす要因と考えられている。日本は四方を海に囲まれた島国であり、資源、エネルギー、食料等の輸入の多くを海運が担っているため、海上輸送の安全確保は安全で安心できる国民の生活を守るために政府が優先的に取り組まなければならない課題である。また、荒天中でのオイルタンカーやケミカルタンカーの海難事故は海洋汚染物質の流出につながるため、海洋環境保全の観点からも海上輸送の安全確保が強く求められている。実海域における船舶の安全性を正しく評価するためには、水槽内のできるだけ忠実に実海域を再現し、その中で船舶の挙動を正確に計測することが必要となる。

続発する海難事故により、人命、財産の重大な損失や海洋環境の深刻な汚染が生じているが、海難事故をきっかけに、一部諸国による科学的な根拠に乏しい不合理な安全基準を強要され、これにより規制適合コストが増加する事例が出現している。「国際基準を制するものが市場を制する」時代に入ったと言われている今日、我が国が提案する安全基準が国際基準として採用されれば、その研究過程において蓄積された独自技術を活用してライバル国との差別化を図ることができ、これにより我が国造船業に国際的産業競争力の維持・強化をもたらすこととなる。これに対応するためにも、海難事故が発生した環境を再現して、合理的で精度の高い原因究明を行い、その結果を国際的な検討の場に示すことが必要となっている。また、海難による人命損失を防ぐには、荒天時の船のサバイビリティ評価や、操船シミュレータと水槽実験との連携による海難時のブリッジ内での状況再現等も必要である。

一方で、近年の客船やコンテナ船の大型化や船種の多様化に対応するため、IMO（国際海事機関）における船舶の国際基準の改訂の流れとして、乾舷高さ、外板や甲板の板厚等の数字や数式で規定された基準化から、一定の性能を有する事を水槽試験等で確認・証明する、所謂機能要件化へと考え方が移って来ている。この流れに対応して欧米では水槽内に発生させた波浪場の品質保証や計測結果の精度保証が可能な新しい試験水槽を建造し、機能要件を認定できる標準水槽として位置付けている。

このような状況の中、その他の国でも最近新しい水槽の建造が計画されており、試験水槽の更新が進むものと考えられる。しかし、我が国では殆どの試験水槽が旧式であり、産官学ともに機能要件化の流れに対応できる水槽施設を保有していな

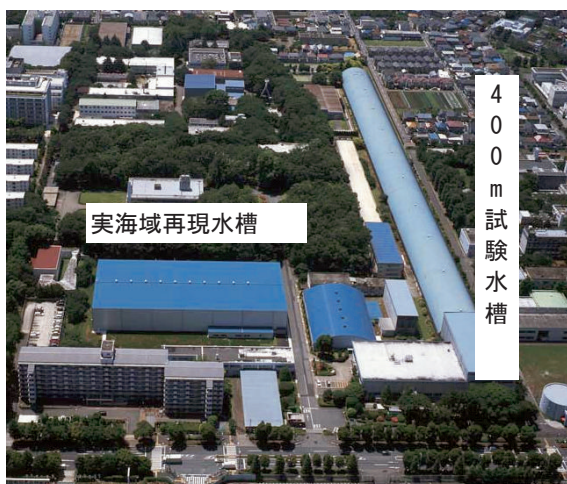


図-1.1 航空写真で見える実海域再現水槽



図－1.2 短波頂不規則波を発生中の実海域再現水槽

い。これでは国際基準の策定に国として対応できなくなるばかりか、造船各社も水槽試験業務を海外に委託せざるを得なくなり、建造はおろか設計部門においても国際競争力を失う事になる。

以上に状況を鑑みて、我が国では戦略的観点から世界に先んじて実海域での船舶性能を正確に評価することができる世界最高レベルの試験水槽を建造する必要があった。実海域再現水槽はこれら社会ニーズを背景に、予算化され建造されたものである。

1.2 求められている機能・性能

実海域再現水槽の仕様を決定するに当たり、ニーズを満たすために必要な機能と性能を精査した。必要不可欠な機能は、

- ① 実海域波浪場の発生
- ② 実海域海上風の発生
- ③ 曳引台車による高精度計測
- ④ 数値制御による再現性の確保

である。以下、実海域再現水槽の性能仕様を説明するにあたり、概ね 4.5m を模型船長の上限としていることを述べておく。水槽の仕様は、この条件を勘案して決められている。

実海域波浪場の発生機能は、本水槽にとって最も重要な機能である。実海域波浪場の発生には短

波頂不規則波の造波機能が不可欠で、これには多分割式造波機が必要である。表－1.1 に国内外の主な多分割式造波機を持つ水槽施設を示す。殆どの水槽は、1 面もしくは 2 面に造波機を設置したタイプである。1 面に設置したタイプは側壁反射を利用して水槽全面に短波頂不規則波を発生させるため、波の主方向は水槽長手方向に固定される。また、2 面に設置したタイプでは主方向の自由度は高いが、風浪とうねりが 90°以上の角度で重畳する場合に対応できない。実海域再現水槽では、あらゆる実海域波浪場の発生が求められているため、4 面全て（即ち、全周）に造波機を設置した。従って消波ビーチは無く、造波機の波吸収機能により水槽内全面に反射波の影響を抑えた定常的な波浪場の発生を可能にした。造波板の要素幅は、小さいほど分解能が高く、短波頂域の波の発生に適しているが、現在の技術水準、予算、維持コスト等を勘案して 55cm とした。図－1.2 に実海域再現水槽全域に水槽長さ方向から 45°の角度を主方向とする短波頂不規則波を発生している様子を示す。集中波の発生にも柔軟に対応できるため三角波を模擬する波浪の発生等も容易である。

海上風の発生は、海難事故分析に不可欠な機能である。台風等による荒天下での状況を再現するため、十分な風速が求められ、最大風速を 10m/s

とした。1/100縮尺の模型船では風速100m相当である。また、均一な横風中での実験を行うため、送風幅を模型船長の2倍程度の8mとした。

表-1.1 国内外の主な造波水槽施設

実海域再現水槽	
寸法	80m×40m×4.5m
造波機	4面(フラップ型382台)
曳引台車	XYΨ台車(X 3.5m/s, Y 3m/s)
送風装置	同軸ファン8基(U _A 10m/s)
(独)水産総合研究センター(波崎)	
寸法	60m×25m×3.2m
造波機	1面(プランジャー型80台)
曳引台車	XYΨ台車(X 3m/s, Y 1.5m/s)
送風装置	なし
三菱重工業(株)(長崎)	
寸法	160m×30m×3.3m
造波機	1面(フラップ型75台)
曳引台車	XYΨ台車
送風装置	なし
(株)IHIMU(磯子)	
寸法	70m×30m×3m
造波機	2面L型配置(10台)
曳引台車	XYΨ台車
送風装置	なし
九州大学(伊都)	
寸法	38.8m×24.4m×2m
造波機	1面(プランジャー型32台)
曳引台車	XYΨ台車(X 1.2m/s, Y 1.2m/s)
送風装置	なし
IOT-NRC(カナダ)	
寸法	75m×32m×3.2m
造波機	3面J型配置(フラップ・ピストン複合型168台)
曳引台車	なし
送風装置	なし(潮流発生機能あり)
MARIN(オランダ)	
寸法	170m×40m×5m
造波機	2面L型配置(フラップ型331台)
曳引台車	XYΨ台車(X 6m/s, Y 4m/s)
送風装置	同軸ファン
MARINTEK(ノルウェー)	
寸法	80m×50m×10m
造波機	2面(ダブルフラップ型144台)
曳引台車	なし(天井にXY Gondola)
送風装置	なし
KORDI(韓国)	
寸法	56m×30m×4.5m
造波機	2面L型配置(ピストン型88台)
曳引台車	XYΨ台車
送風装置	同軸ファン8基(U _A 10m/s)
上海交通大学(中国)	
寸法	50m×30m×6m
造波機	1面
曳引台車	XY台車(1.5m/s)
送風装置	同軸ファン(U _A 10m/s)

曳引台車は模型船を自在に3自由度で曳航できることが基本であり、主台車、副台車、ターンテ

ーブルで構成された、いわゆるXYΨ台車が必要である。表-1.1に示す主な水槽においても、同様な曳引台車を備えている水槽が多い。本水槽では、40m幅の水槽を跨ぐ巨大な曳引台車であるが、その移動速度は長手方向3.5m/s、幅方向3m/s、合成最大速度4.6m/sと高速である。

本水槽は造波機、送風機、曳引台車、クランプ装置、データ計測装置、撮影装置、照明装置等を全て一元的に制御する機能も仕様を含め、実験中に極力手動操作を不要にした。これにより、極めて高い実験の再現性を獲得すると同時に、同じ条件での計測を繰り返すことで、実験精度の評価も可能にした。

2. 実海域再現水槽の概要

本節では実海域再現水槽の寸法、造波機、曳引台車、送風機の機能・性能等を簡潔にまとめて紹介する。より詳細については、第3章以下に記述する。

2.1 水槽本体

実海域再現水槽の主要寸法を表-2.1に示す。旧三鷹第一試験水槽(旧80m角水槽)のコンクリート躯体を再利用して建設したため、水槽長、型深さ、水深は旧水槽の寸法を継承している。幅は曳引台車を掛けるため、40mとした。フラップ式造波機を採用したため、造波機裏のスペースに約2m必要で、水面の広さは長幅共に4m程短くなっている。水槽西側にトリミングタンクを一つ備えている。その寸法を表-2.2に示す。

表-2.1 水槽主要寸法

長さ	東西壁面間	80.00 m
	水面長	76.20 m
幅	南北壁面間	40.00 m
	水面幅	36.00 m
型深さ	-	4.95 m
水深	標準値	4.50 m

表-2.2 トリミングタンク主要寸法

長さ	6.00 m
幅	1.20 m
型深さ	0.95 m
水深	0.65 m

2.2 造波装置

実海域再現水槽にはフラップ式吸収造波機を水槽の全周に382台配置した。各要素ユニットは、隣のユニットと扇状の水密連結板で結ばれており、造波面にギャップが生じない構造となっている。これらのユニットを制御して、全体として多分割型吸収造波装置を構成している。造波装置の型式、主要寸法、性能、機能等を表-2.3 から表-2.7 に示す。

表-2.3 造波機形式等

型式	フラップ式多分割式吸収造波機
駆動	電動サーボモータ
制御方式	自動吸収制御及び造波板位置制御（吸収制御なし）

表-2.4 造波機主要寸法

要素数	382 台
要素幅	0.55 m
造波板高さ	2.00 m
ヒンジ部深さ	1.50 m

表-2.5 造波周期、波長、最大波高

周期	0.43 sec～4.0 sec
波長	0.3m～25.0m
最大波高	0.35m

表-2.6 吸収能力

正面規則波	波エネルギー97%以上 (周期:0.80～2.53 sec の範囲)
その他	波エネルギー85%以上

表-2.7 造波機能

	発生波	連続造波時間
(1)	規則波	制限無し
(2)	長波頂不規則波	制限無し
(3)	短波頂不規則波	制限無し
(4)	集中波	30分
(5)	任意波	30分
(6)	合成波*	30分
(7)	波吸収**	制限無し

* 上記(1)～(5)の波を5種類まで重ね合わせた合成波を発生させる機能

** 造波せず、水槽内を航走する模型船や浮体が発生した波を吸収する機能

2.3 曳引台車

曳引台車の基本性能を表-2.8 に示す。曳引台車の建造に当たっては、固有振動数5Hz以上を確保した上で、できるだけ軽量化に努めた結果、総重量を730.1kN(74.5tf)に押さえることができた。軽量化により、軽快な運動性能と省エネを両立させている。

曳引台車には表-2.9 に示す多彩な運転モードを用意した。

表-2.8 曳引台車の基本性能

主台車	東西方向 (X 走行) 速度 : 0.050～3.500 m/s 加速度 : 0.005～0.050 g
副台車	南北方向 (Y 走行) 速度 : 0.050～3.000 m/s 加速度 : 0.005～0.060 g 上下位置(Z)を調節可能
回転盤	回転運動 (Ψ 回転) 速度 : 0.10～36.00 deg/s 加速度 : 0～20 deg/s ²
搭載荷重	最大 4.9kN(500kgf)
固有振動数	上下、水平共に 5Hz 以上 (最大搭載時)

表-2.9 運転モード

手動モード	単独定速運転(X,Y,Z, Ψ)
	単独寸動運転(X,Y,Z, Ψ)
	ジョイスティックモード
CPU モード	直進モード(X,Y)
	CMT モード(X,Y, Ψ)
	PMM モード(X,Y, Ψ)
	動揺モード(X,Y, Ψ)
任意データ運転モード(X,Y, Ψ)	
外部信号運転モード(X,Y, Ψ)	
自動追跡モード(X,Y, Ψ)	

2.4 送風機

送風機の基本性能を表-2.10 に示す。同軸ファンを並べた構造で、4mユニット1つ、2mユニット2つで構成され、全部を接続することで最長8mの送風幅で、最大10m/sの送風が可能である。普段は曳引台車から取り外してあり、使用時に作業台車を介して主台車に取付けて使用する。

表-2.10 送風機の基本性能

風速		0.5m/s～10m/s
送風範囲	水平	4m 及び 8m
	上下	0.5m
	下端	水面～0.5m
送風角度	水平	任意
	上下	水平から±30度
連続運転		30分
送風モード		定常風及び変動風

3. 水槽本体

3.1 基本寸法

本水槽は旧三鷹第一船舶試験水槽（旧角水槽）内に、旧水槽の東西壁面と底面を活かして建造した。よって基本寸法は旧水槽の寸法に基づいており、水槽試験に用いる模型船長を概ね 4.5m を上限として設計した。

本水槽の平面図を図-3.1 に、東西と南北の断面図を図-3.2 に示す。水槽本体の内法寸法等は、表-2.1 に示したとおりである。

旧水槽の壁面ならびに底面コンクリートはサンプリング検査の結果、圧縮強度が概ね 40N/mm² 以上と十分な強度を保っていたため、補強は不要で、元々の東西の水槽長と水深を維持したまま本水槽を建造することができた。

新たに建造した南北の壁面間の距離は、曳引台車を設置するため 40m とした。これは旧水槽の半分である。しかし、旧水槽には消波ビーチと造波機基礎構造が水槽内にあり、水深 4.5m 区間の南北長は 65m であるため、実際には 25m 狭まったに過ぎない。曳引台車を備えるメリットを勘案すると、水槽面積においても旧水槽と比べて遜色ないと言える。

3.2 構造・強度等

(1) 構造・強度

水槽内に新たに建造した南北の壁面は、曳引台車の荷重や造波機の反力等に十分耐える構造と強度を有する必要がある。そこで壁面を建造するに当り、基礎工事として直径 600mm の PHC 杭 4 本で支えられた鉄筋コンクリート製の基礎を東西方向に 8m 間隔で 10 基、南北合わせて 20 基建造した。一つの基礎は南北 4.85m、東西 2.7m、高さ 1.2m の大きさで、基礎の上面が水深 4.5m レベルとなっている（図-3.3）。杭工法はプレボーリング先端拡大根固工法で、地盤の強度を求める標準貫入試験結果（N 値）50 以上の関東砂礫層の深度（地表から 10.5m）まで打ち込んだ（図-3.4）。基礎と杭頭との接合には、地震による曲げモーメントにより接合部が折損しないよう、杭頭を水槽壁に固着させないリング工法を採用した。南北の水槽壁はこれらの基礎上に建造した（図-3.3）。建造に用いたコンクリートの強度は、概ね 30N/mm² である。

強度設計に当たっては、曳引台車の荷重や造波機の一斉同期運転による反力に加え、地震による最大加速度 0.3G（プラントの耐震強度に準じた値）、長周期動による水槽水のスロッシングによる変動荷重等も考慮した。

南北の壁面上には曳引台車の軌条を敷設するため、その基礎として壁面上部に H 型鋼を埋め込み、その上にレールチェアを設置できるようにした。

水槽建造の様子を図-3.5 から図-3.9 に示す。

(2) 造波機マウント

全ての水槽壁面にはフラップ型造波機の駆動部とヒンジ部を取り付けるためのマウントを建造した。駆動部用マウントの上面高さは水面上 0.45m、ヒンジ部マウント上面深度は水面下 1.6m で、造波機を取付けた際のヒンジ深さが 1.5m になるようになっている（図-3.3）。なお、水槽 4 隅では、図-3.1 に示すように造波機面を曲率半径 7.70m の円弧状に配置できるよう、マウントを円弧状に建造した。

(3) 漏水対策

試験水槽では老朽化による漏水がしばしば問題となる。旧角水槽ではコンクリートの打ち継ぎ部にゴム製の止水板を埋め込んだ構造となっており、建造から 50 年以上経過した現在でも、極めて良好な状態を保っていた。そこで、新水槽の建造においても漏水防止用シール材等に水中においての耐用年数が 30 年以上の材質を用い、同様の工法を採用した漏水防止対策とした。

(4) 壁面精度

長水槽では波の攪乱を防ぐ為、壁面精度に気をを使う。本水槽でも大凡の目安として ±5mm/10m の精度を水槽壁面に求めているが、本水槽は全周に造波機を設置する方式であるため、壁面精度が実験精度に影響を及ぼす心配はほとんどない。

3.3 トリミングタンク

トリミングタンクは図-3.1 の実験準備場にある。写真を図-3.10 に示す。基本寸法は表-2.2 に示したとおりである。

タンクの中心線は水槽の南壁内面から 11.75m の位置にあり、水槽中央から外れている。これは、トリミングタンクの前面にだけ造波機が無いため、水槽中央で行うことが多い実験に対する影響をできるだけ小さくするためである。

トリミングタンクも鉄筋コンクリート製で、合わせ強化ガラス製の 1.45m×0.6m の観測窓を左右に 6 箇所と、0.75m×0.6m の観測窓をタンク端に備えている。また水槽への出入口には上下スライド式電動水密ゲートを備えており、容易に開閉できるようになっている。

図-3.1 水槽平面図

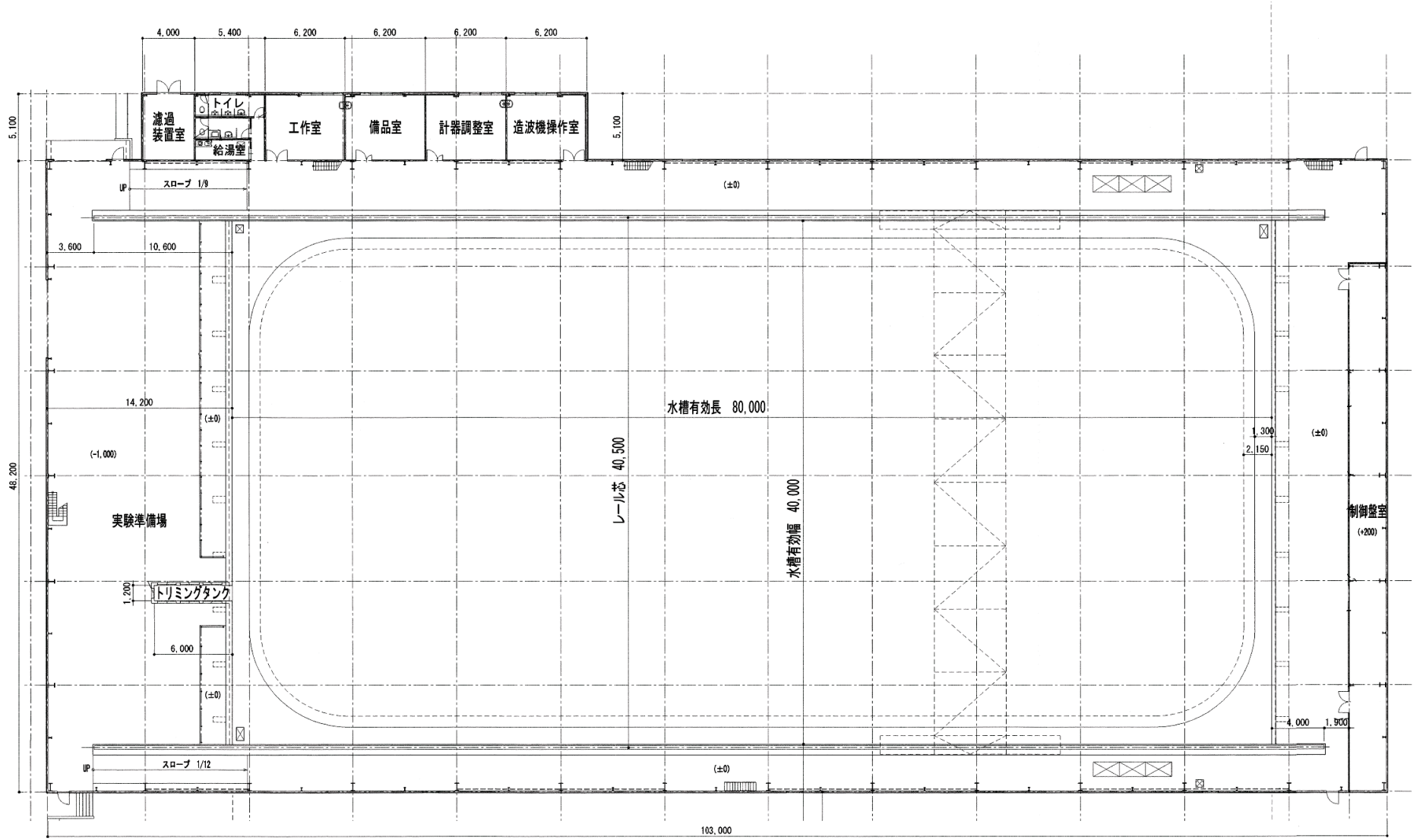


図-3.1 水槽平面図

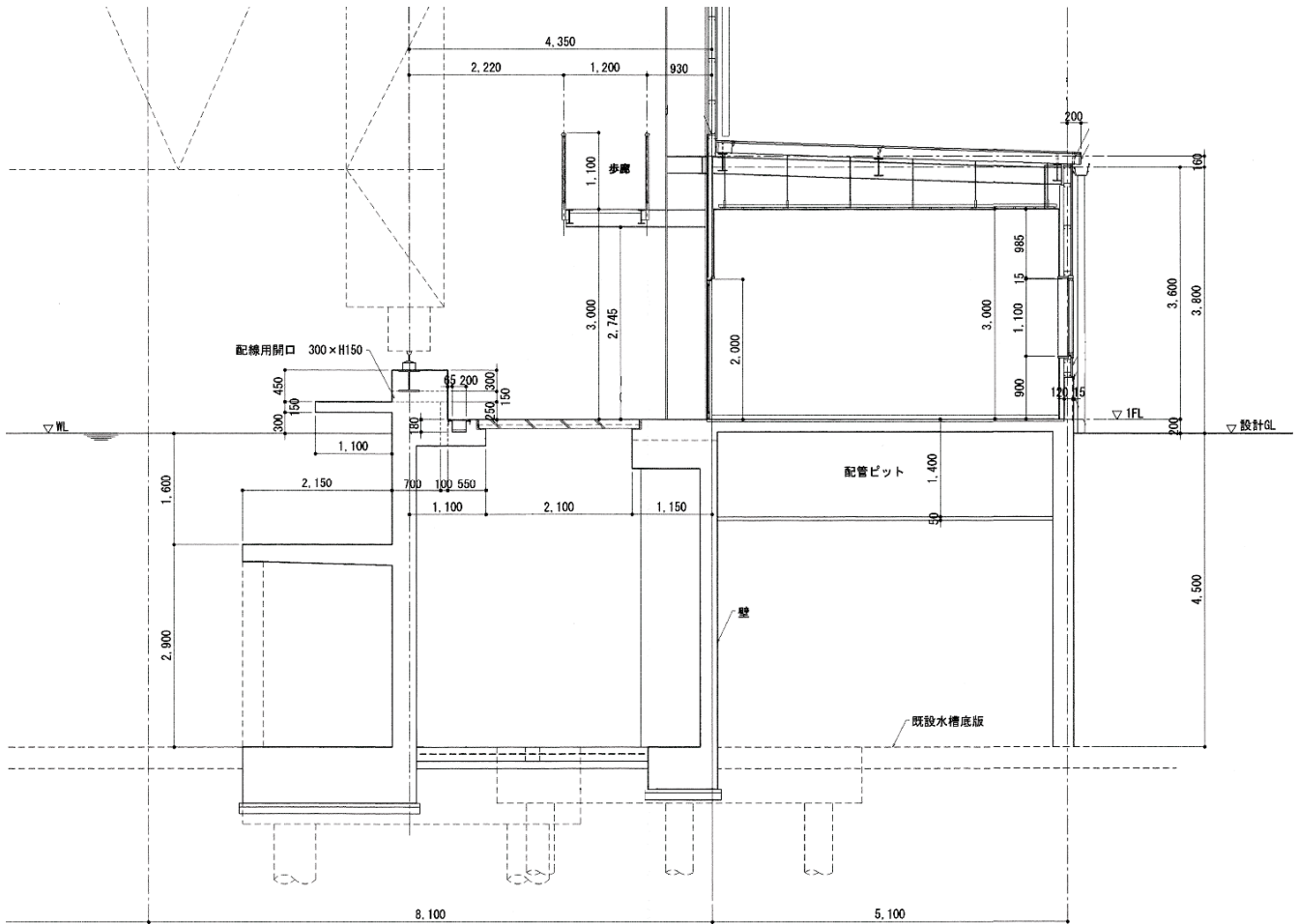


図-3.3 北側の水槽壁ならびに建家基礎部の断面

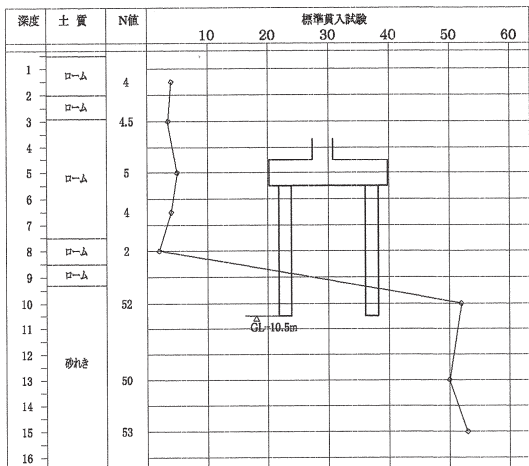


図-3.4 ボーリング標準貫入値・土質構成



図-3.5 建設中の実海域再現水槽
(南東角より北西を臨む)



図-3.6 造波機ヒンジ部設置棚
(水槽南西より北を臨む)



図-3.8 水槽壁面 (左) と建家基礎 (右)
(水槽南西より東を臨む)



図-3.7 棟上げ中の建家(水槽南西より東を臨む)

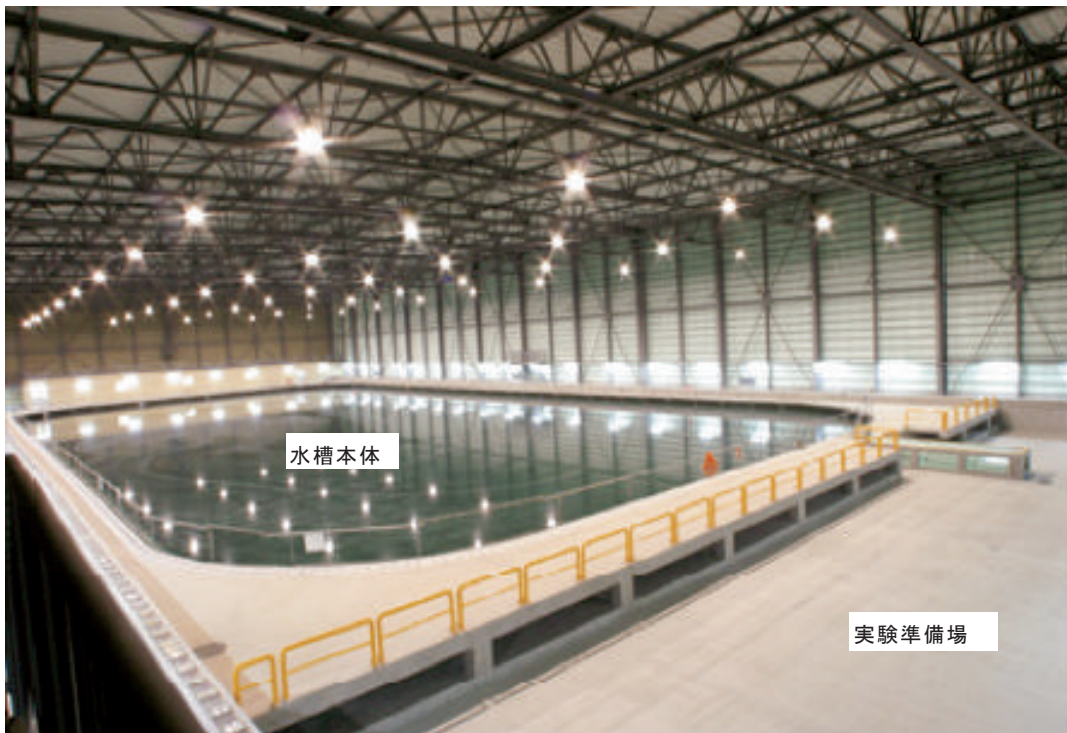


図-3.9 完成した水槽本体と建家 (造波機や軌条・曳引車設置前の写真)



図-3.10 トリミングタンク

3.4 給水設備ならびに濾過設備

給水に関して本水槽へは、当所の 1 号井戸（400m 水槽北側）と 2 号井戸（本館北側）の 2 カ所からの給水経路がある。1 号井戸からの経路が主経路で、濾過装置を経由して水槽の北西角から給水される。2 号井戸からの経路は蒸発量の補充等の少量の給水を想定しており、濾過装置は経由しないが、設定水位による給水の自動停止ができるようになっている。この経路は水槽の南東角から給水される。



図-3.11 濾過装置

濾過装置（図-3.11）は、1 号井戸からの給水の濾過だけでなく、水槽水の循環濾過も可能である。塵やプランクトン等の除去が主目的で $45\text{m}^3/\text{h}$ の処理能力があり、通常、24 時間連測運転している。約 2 週間で水槽内水量を一巡することとなる。

一方、排水設備は、過給水時のオーバーフロー管とトリミングタンク底面の排水弁があるだけで、トリミングタンク底面以下のレベルにまで排水する場合は排水ポンプにより行うこととなる。これは、工事等以外には排水することが無い事を想定

しているためである。

3.5 実験準備場

模型船の艤装、各種の調整及び計測機器類の取り付け、慣動半径の計測等を行うため、水槽本体西側に実験準備場が設けられている。準備場の広さは、トリミングタンクの北側が $11.7\text{m} \times 27.4\text{m}$ 、南側が $11.7\text{m} \times 10.6\text{m}$ である。実験準備場の床面は、模型船の搬入等のために 4t トラックが出入りできるように、その車両荷重に耐えられる十分な強度を持っている。また、濡れることを想定して、防水、防滑塗装が施されている。

実験準備場では、ほぼ全域をカバーする最大 27.4kN (2.8tf) の天井クレーン（図-3.12）が使用可能である。



図-3.12 実験準備場の天井クレーン

3.6 水槽建家

本章の最後に水槽建家について説明を行う。建家は、水槽本体、曳引台車、造波機等、本水槽の施設全体を収容するもので、建家寸法は東西 103.0m 、南北 48.2m 、高さは地表から 15.4m である（図-3.13）。先に述べたように、本水槽は旧角水槽内に建設したため、建家の基礎も旧角水槽底に建造する必要があった。建家の基礎工事では直径 506mm の PHC 杭 2 本で支えられた鉄筋コンクリート製の基礎を東西方向に 8m 間隔で 10 基、南北合わせて 20 基建造した。一つの基礎は南北 5.25m 、東西 2.0m 、高さ 1.0m の大きさで、杭工法等は水槽本体と同じである。 -4.5m レベルから地上 0.3m までは、厚さ 30cm の鉄筋コンクリート製の壁を建造し、建家の地上構造物はその壁の上に建造されている。建家地下壁の外側の旧水槽底には雨水を浸透させるための孔を開け、その上に工事で出たコンクリート殻を砕石として活用した浸透層を設け、地表まで埋め戻した。建家はその外側が地表まで埋戻されているため、



図-3.13 実海域再現水槽建家

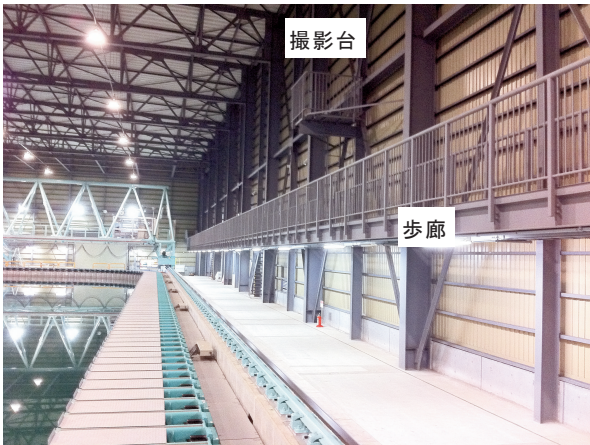


図-3.14 歩廊

地震の地表波がそのまま建家に伝わる。一方、水槽底面は地下 4.5m レベルに建造されており、地表より幾分揺れが小さいと期待できる。そこで、建家の基礎と水槽本体の基礎の縁を切り、地震により建家に作用する荷重が水槽本体に直接伝わらない構造とした。水槽壁と建家の地下壁との間には、ほぼ地表レベルにデッキプレートを設置して通路とし、その下は暗渠になっている。この暗渠は水槽壁から漏水が無い事を確認するための点検

路や、造波機制御盤から各造波機への配線経路として活用している。デッキプレート上の通路幅は、水槽南側が 2.13m、北側が 3.13m である。

建家の地上部分は、鉄骨構造で外壁はガルバリウム鋼板張りである。北西部に玄関、さらに通用口を南西、南東、北東に各 1カ所ずつの計 4カ所に出入口を設けた。また、模型船や機材等の大型貨物の搬入出用に西側に幅 6m、高さ 5m のシャッターを、北西に幅 4m、高さ 4m のシャッターを設けた。

建家に窓は無く遮光性が高いため、流れの可視化実験等の水槽内を暗くして実施する必要がある実験にも照明を消すだけで対応できる。水槽内の照明には、天井に 9 台×5 列で取付けられた 400W の水銀灯 45 灯を用いて副台車上で 100ルクスの照度を、また実験準備場では作業性を高めるため西側壁面に取付けられた 1000W 水銀灯 11 灯により、400ルクスの照度を確保している。

建家は巨大な構造物であるため、全体の空調設備は無く、換気用に壁面に鏝戸式の通気口 5カ所と天井に 750W の換気扇 10 基を設置している。一方、造波機制御盤は造波機の誤動作を防ぐため空調が効いた部屋に設置する必要がある。このため、水槽建家内東側に幅 40.1m、奥行 2.9m の空調付きの造波機制御盤室を設け、制御盤 24 基を収容した。

建家には水槽実験の観察や撮影に供するため、北側通路全域の通路床面から 3m の高さに幅 1.2m の歩廊を設けた(図-3.14)。この歩廊は東側の造波機制御盤室屋上と接続されており、水槽北側と東側を L 字型に結ぶ観測・撮影施設として用いることができる。さらに高い位置からの撮影を行うため、歩廊上 3m の高さに 1.5m 四方の撮影台を北側と東側に一カ所ずつ設けた。その他、水槽南側と西側には、それぞれ 5.2m×1.5m と 5.35m×2m の床面積を持つ撮影台を設けた。高さは歩廊と同じ通路上 3m である。これらの歩廊や撮影台は、水槽見学用場所としても活用できる。

建家壁には他に、曳引車用の給電トロリーを南側通路上 6.95m の位置に設置した。

水槽建家の北側に張り出す形で実験・解析のための作業室 4 室と衛生設備(男女トイレと給湯室)を設置した。各作業室は、水槽建物内から出入りできる出入口を有し、6.2m×5.1m の床面積を持つ。天井高さは、床面から 3m である。内 1 室は造波機操作室で、造波機操作卓が設置されている。

4. 曳引台車

実海域再現水槽の曳引台車の基本構成は、主台車と副台車、回転盤である。主台車は水槽の長辺方向(X 方向)、副台車はこれと直交する短辺方向(Y 方向)に移動可能で、副台車上には回転盤があり、これが水平面内の回転(Ψ 方向)を行う。これら 3 自由度の運動で曳引台車は模型船の任意の平面運動に対応することができる。基本機能は当所の海洋構造物試験水槽²⁾の主台車・副台車と同じであるが、より大型化しながら高性能・高機能化を図った実海域再現水槽の曳引台車について以下にその概要を述べる。

4.1 構造・強度

曳引台車の全景を図-4.1 に示す。主台車は軽量化と剛性を確保するトラス構造としている。主台車の主要部の幅は 41.7m、前後長さは 10.9m、主トラス構造の部材中心の高さは 6.0m で、頂部水槽幅をまたぐ上部水平部材と下部水平部材の中心軸は基準水面からそれぞれ 9.6m と 3.6m の高さである。主台車への陸上からの給電は南端の架線による。曳引台車の制御盤等は主台車上の南北端に配置されている(図-4.1 の右が南)。

主台車下を移動する副台車は上下位置の調整を可能とするためパンタグラフ式の構造としている。副台車の床面は長さ約 4.2m、幅約 2.4m で、その

一部に直径 1.8m の回転盤を有する。回転盤中央部には計測機器等設置のための長さ 1.2m、幅 0.9m の開口部があるほか、回転盤以外の部分にも長さ 1.0m、幅 0.9m の観測等のための開口部が設けてある。主台車と副台車の間の動力・信号線はカーテンケーブルによる。

曳引台車の総重量は 730.1kN(74.5tf)である。副台車上で計測した固有振動数は各モードとも 5Hz 以上を確保している。副台車走行時の水面との平行度は副台車上の荷重が 2.94kN(300kgf)で誤差 ± 0.5 mm 以下である。

主台車上北側には曳引台車の操作および計測データ取得のための計測室を設けた。計測室の北側の壁以外の壁と扉は透明なアクリル製で、床板は必要に応じて一部を外すことができる。主台車上には幅 0.5m の歩廊を全幅に渡って設置したほか、トリミングタンク上になる位置には歩廊と直交する方向にも歩廊を設けた。

主台車には南北の両端から梯子と階段を使って昇降できる。副台車を基準高さで北端に寄せることで主台車から副台車への乗降が可能となる。実験準備場に備えてある専用の移動式階段を使えば実験準備場から主台車計測室、または副台車上に直接昇降することができる。

4.2 軌条

主台車の軌条は新幹線用の軌条(588N/m



図-4.1 曳引台車

表-4.1 曳引台車走行範囲・精度等の仕様

項目	運動状態	主台車(X)	副台車(Y)	回転盤(Ψ)
走行範囲	—	± 28.0 m	± 10.5 m	± 3600 deg
速度範囲	—	$\pm 0.050 \sim 3.500$ m/s	$\pm 0.050 \sim 3.000$ m/s	$\pm 0.10 \sim 36.00$ deg/s
加速度範囲	—	$\pm 0.005 \sim 0.050$ g	$\pm 0.005 \sim 0.060$ g	$\pm 0 \sim 20$ deg/s ²
位置精度 (RMS)	定速運動	± 10 mm	± 10 mm	± 0.12 deg
	変速運動	± 20 mm	± 20 mm	± 0.12 deg
速度精度 (RMS)	定速運動	± 8 mm/s	± 8 mm/s	± 0.04 deg/s
		合速度: ± 12 mm/s		
	変速運動	± 20 mm/s	± 20 mm/s	± 0.04 deg/s
合速度: ± 28 mm/s				

表-4.2 曳引台車運転モード

運転モード	個別モード	運転方向	運転内容
手動	単独定速	XY Ψ Z	XY Ψ Z について操作盤上で加減速度(Z は不要)・速度・停止位置を設定して運転
	単独寸動	XY Ψ Z	XY Ψ Z についてボタン押下時のみ所定の低速度で運転
CPU	直進	XY	1)X 単独運転または 2)Y 単独運転：初期位置(X,Y)・速度・斜航角等を入力して運転 3)XY 連動運転：初期位置(X,Y)・速度・移動方向・斜航角等を入力して XY 連動運転
	CMT	XY Ψ	初期位置(X,Y)・速度・初期移動方向・角速度・斜航角等を入力して運転
	PMM	XY Ψ	1)Yaw Motion：初期位置(X,Y)・速度・主移動方向・振幅・斜航角等を入力して運転 2)Sway Motion：初期位置(X,Y)・速度・主移動方向・振幅・回頭角速度等を入力して運転 3)Combined Motion：初期位置(X,Y)・速度・主移動方向・振幅・位相等を入力して運転 4)簡易 PMM：初期位置(X,Y)・速度・主移動方向・振幅・斜航角・回頭角速度等を入力して運転
	動揺	XY Ψ	運動中心位置(X,Y, Ψ)・周期または周波数・振幅・位相等を入力して運転
任意データ	—	XY Ψ	位置・速度・加速度・クランプ開閉・計測データ用信号出力等必要な時系列データファイルに従い運転ならびに信号出力
外部信号	—	XY Ψ	位置または速度の外部入力電圧信号に従い運転
自動追尾	—	XY Ψ	自由航走模型船等を非接触で自動追跡運転
ジョイスティック	—	XY Ψ	速度をジョイスティックで入力して運転

(60kgf/m)レール)の表面を加工したものである。主台車の2本の軌条の敷設幅は40.5m、レールチェア間隔は0.6mである。

高低差と傾きの誤差は基準側・反基準側ともそれぞれ $\pm 0.2\text{mm}$ 以内と $\pm 1/1000\text{rad}$ 以内で、直線度の誤差は基準側 $\pm 0.2\text{mm}$ 以内、反基準側 0.5mm 以内である。両軌条の平行度と高低差、傾きの誤差はそれぞれ $\pm 1.0\text{mm}$ 以内と $\pm 0.2\text{mm}$ 以内である。

主台車および副台車軌条の両端には非常時のための衝撃吸収装置を設けた。また、いずれの軌条も結露防止のためのレールヒーターを備えている。

4.3 駆動装置と走行性能

主台車は22.0kWモーター8台による8輪駆動、副台車は2.9kWモーター4台による4輪駆動、回転盤は2.0kWモーター1台による駆動で、いずれもACサーボモーターを採用した。副台車上下動には2.2kWの誘導モーターを用いた。

水槽は長さ80m、幅40mであるが、造波機が設置されているため有効水面は長さ約76m、幅36mとなる。副台車と作業台車(後述)の設置空間ならびに緊急時の減速範囲を確保するため、実験に供する通常の走行範囲は制限している。現在、

副台車回転盤の中心位置の移動可能範囲は水槽中央部の長さ56m、幅21mの範囲としている。ただし、この通常の走行範囲は曳引台車の制御系の設定変更によって将来変更することが可能である。この範囲以外へ移動する場合は寸動モード(後述)を使う。回転盤の運転範囲は $\pm 3600\text{deg}$ である。副台車床面の上下変位は、回転盤内の開口部周囲に設けられた計測レールの高さが水面から1.0mである時を標準として、下方向に0.5m、上方向に1.0mの調整が可能である。

曳引台車のXY Ψ 方向の動きは基本的にはACサーボモーターのエンコーダー出力に基づいて制御する。XY方向についてはレーザー変位計による出力も高精度の制御に用いる。走行範囲および速度・加速度の設定範囲・精度の仕様は表-4.1に示すとおりである。実際は後述するように表-4.1の値よりも高い精度で仕様を満足していることを確認している。

主台車と副台車の最高速度はそれぞれ3.5m/s、3.0m/sで、合速度は最高約4.6m/sとなる。

4.4 運転モード

前述のXY Ψ 3方向に上下移動(Z方向)を加えた曳引台車の運転・操作は基本的には主台車上の計



図-4.2 曳引台車運転操作卓(主台車計測室内)

測室内から行う。計測室内の曳引台車運転操作卓を図-4.2に示す。操作卓上の計算機は後述するCPUモードの際に運転内容や時刻情報の設定・確認等を行う際に用いられるほか、運転中の曳引台車の監視装置等としての役割を果たす。

曳引台車の運転は表-4.2に示す6つのモードの中から選択でき、拘束模型試験や自由航走模型試験などの多様な目的に対応できる。

CPUモード中の直進・CMT (Circular Motion Test)³⁾・PMM (Planar Motion Mechanism)・動揺の各モードはごく基本的な運転モードで、直進や旋回・斜航、正弦波状の運動、定点周りの周期的動揺などを模型船等に与えるモードである。基本的ではあるが、変数の設定によっては一定回頭角速度を伴う正弦的な左右揺れなどの特殊な運動も実現することができる。

任意データモードではあらかじめ電子ファイルに書き込まれた時系列データに基づいて曳引台車を運転する。時系列データとしては位置と速度のいずれかが選択でき、事前に異常な信号がないかソフトウェア上で点検した上で実際の運転を開始する。

外部信号モードでは操作卓下の端子にアナログ電圧で速度信号を実時間で直接入力して運転する。

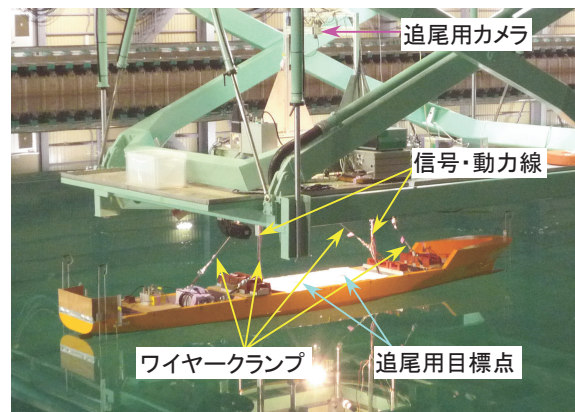


図-4.3 自由航走模型の例(自動追尾モード、動力・信号線を有線とした場合、追尾用目標点は黒い●2個を船長方向に配置)



図-4.4 ジョイスティック操作箱(左)および副台車上遠隔操作箱(右)

この場合は曳引車制御システムでの事前の信号点検ができないため、別途入力信号の事前点検を行って異常な信号が入力されないように注意する必要がある。

自動追尾モードは模型船上に設けた2点の目標点を副台車回転盤上のCCDカメラで認識しながら曳引台車がXY Ψ 各方向に模型船を追尾するモードである。自動追尾による自由航走模型試験の際の模型船の状況を図-4.3に示す。追尾制御は非線形特性も含めたPID制御による。模型船が同じでも平水中と波浪中、さらに波浪中でも向波中・追波中などで波長・波向き・船速が変化すれば動揺特性が異なる。様々な状況に対応するために必要に応じて自動追尾の制御係数を変更することができる。追尾制御の基本原理は海洋構造物試験水槽と同じ⁴⁾であるが、実海域再現水槽では、別途製作した自動追尾試験用クランプ装置(第7章で詳述)との併用により、曳引台車によって模型船を加減速することができ、限られた水面をより広く活用することができる。

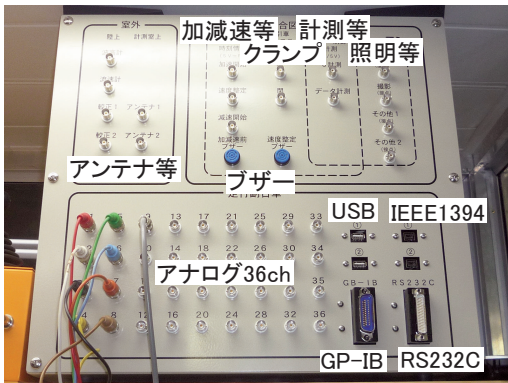


図-4.5 主台車計測室の端子箱(「加減速等」と「クランプ」、「計測等」、「照明等」は合図信号を表す。本文参照)

ジョイスティックモードでは図-4.4(左)に示すジョイスティック操作箱を主台車歩廊上にまで持って行って操作することが可能である。自動追尾モードを利用できない模型など多様な用途が期待できる。

主台車上の南端近傍と副台車上には遠隔操作箱を設置しており、主台車計測室以外からも寸動運転と自動追尾の開始・停止操作等が可能である。図-4.4(右)は副台車上の遠隔操作箱を示す。

その他、CPUモードでの航跡や時刻情報等走行データの事前点検や初期位置移動の際の模型船の向きを選択、CMT 運転後の旋回後退運転の選択などの配慮をしている。

4.5 実験・計測

実験データの取得は基本的には主台車上の計測室で行うことを想定している。副台車と主台車上の計測室とは 36ch のアナログ回線のほか IEEE1394 と USB2.0 各 2 回線、RS232C と GP-IB 各 1 回線ならびにイーサネットのデジタル回線で結ばれている。IEEE1394 と USB2、RS232C、GP-IB の回線は光回線が中継している。その他、計測室内外を結ぶアンテナ用等の端子を用意している。

計測室及び副台車上では加減速前と速度整定時はブザーが鳴る。0 点計測およびデータ計測の開始・終了と加速開始・速度整定・減速開始に対応した電圧パルス信号のほか、クランプの開および閉と撮影機器等のための 4ch 分の接点信号が用意されており、これらの信号の発生時刻は事前に設定することができる。これらの合図信号を活用すれば照明・撮影の自動開始・終了やデータの自動計測・解析が可能となる。

上記信号等の入出力に対応する主台車計測室側の端子箱を図-4.5 に示す。

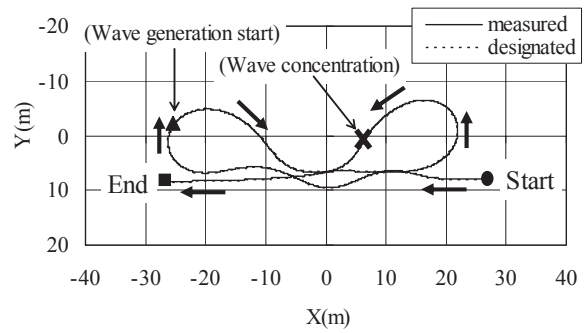


図-4.6 曳引台車航跡の目標値(designated)と実績値(measured)の比較(任意データ運転時)

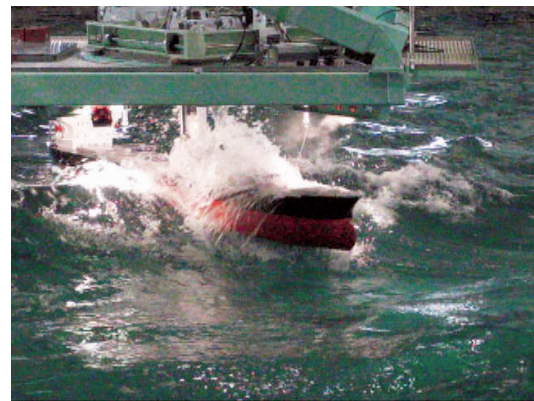


図-4.7 集中波と遭遇するばら積み模型船(任意データ運転時)

各種実験装置に対応できるように主台車計測室および副台車上には AC100V 電源のほか 3 相 200V、DC12V、DC24V の電源を備えている。なお、曳引台車と陸上とはギガビットの光通信回線で接続している。

手動モードを除く運転モードでは実際に運転した $XY\Psi$ の位置と速度を 20Hz のサンプリングでファイル出力により記録するほか、実時間で $XY\Psi$ の位置と速度をアナログ出力できる。上記ファイル出力では実際の曳引台車の $XY\Psi$ の位置と速度の目標値と実績値、クランプ開閉と 0 点およびデータ計測開始・終了ならびに速度整定の時刻も記録する。自動追尾モードでは曳引台車の $XY\Psi$ の位置と速度に加え、自動追尾における画像処理上の座標と方位ならびに模型船の水槽座標系での位置と方位の時系列をファイルに記録する。実時間のアナログ出力については曳引台車の位置と速度か模型船のそれらかを選択することができる。

これらのファイル出力と実時間アナログ電圧出力により、船体運動や荷重など他の計測データと曳引車の運転実績とを合わせて解析することが可能となる。

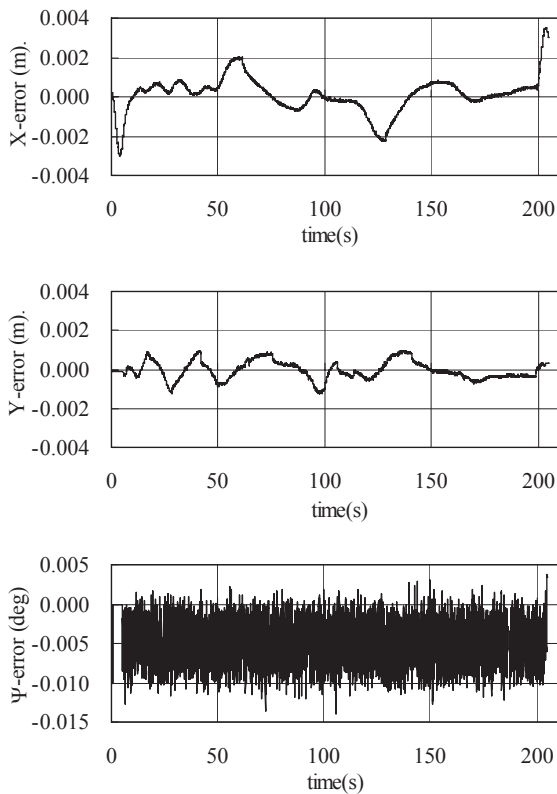


図-4.8 主台車位置誤差(X-error)と副台車位置誤差(Y-error)、回転盤位置誤差(Ψ -error) (任意データ運転時)

4.6 運転例

任意データモードで曳引台車を運転した際の様子を紹介する。図-4.6は3.5m長さのばら積み模型船を任意データモードで曳航運転した際の曳引台車回転盤中心位置の航跡の目標値と実績値の比較を示したものである。座標系原点は水槽中央で、Xは主台車移動方向、Yは副台車移動方向、Zは下向きを正にする右手系座標系で、回転盤の Ψ は右回転を正としている。目標値すなわち任意データの入力値はある船の操縦運動をシミュレーション計算した結果で、この場合は速度入力を採用している。従って、図-4.6は速度入力を積分して求めた目標としての位置の履歴と実際に運転した航跡を表している。後で誤差について言及するが、この程度の大きさの図では曳航航跡の実績値は目標値との差は判別できない。

この任意データモードの運転では、「Start」点から模型船の曳航が開始され、▲の位置で造波が開始された後、×の位置で模型船が集中波に遭遇する。そして「End」で曳航が終了するような運転である。模型船の曳航には6自由度の船体動揺を許容する大型波力測定装置(7章で詳述)を用い

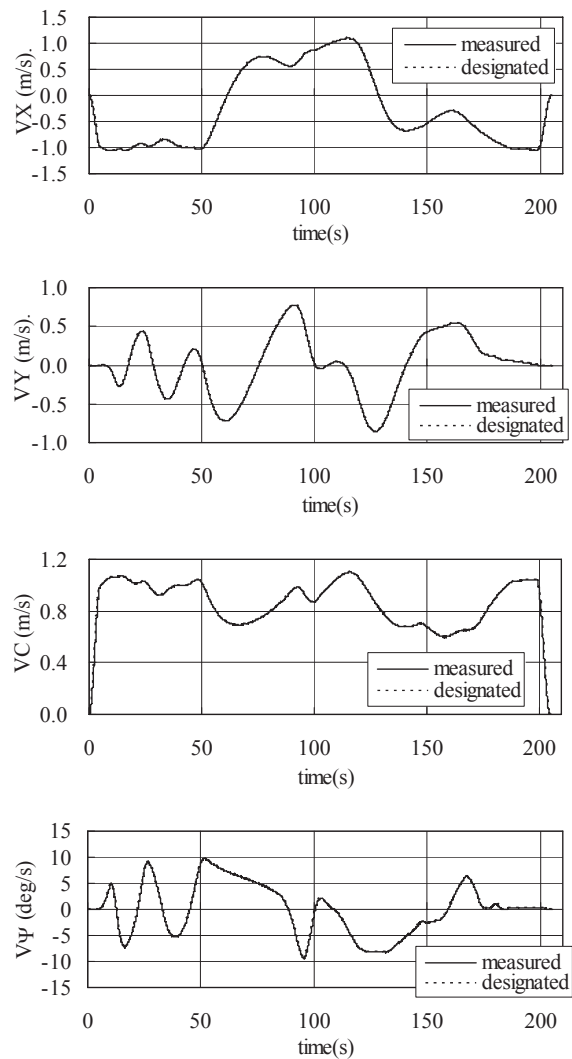


図-4.9 主台車速度(VX)と副台車速度(VY)、合成車速度(VC)、回転盤速度(V Ψ)の目標値(designated)と実績値(measured)の比較(任意データ運転時)

た。

図-4.7に模型船が集中波に遭遇したときの様子を示す。このような状況を含めて曳引台車には変動する外力が作用する。

図-4.8に図-4.6の任意データ運転時のXY Ψ の位置誤差の時系列を表す。回転盤の位置誤差の約 -0.005deg の直流成分は加速時に速度指令信号を積分した際の誤差が残ったものと考えている。主台車は約 $\pm 2\text{mm}$ 、副台車は約 $\pm 1\text{mm}$ 、回転盤は約 -0.01deg 以内のわずかな誤差であることがわかる。

図-4.9に速度の時系列を示す。VXが主台車の速度、VYが副台車の速度、VCがVXとVYの合成速度、VPsiが回転盤の速度を表す。加減速を含めたデータである。これらが合成速度 1.0m/s 前

後の模型船の斜航・旋回や増減速を表している。
この速度の時系列で比較しても目標値と実績値の差は確認できるほどではない。

図-4.10 に $XY\Psi$ の速度誤差の時系列を示す。
加減速時を除けば速度誤差は主台車・副台車とも約±4mm/s 以内、合成速度は約±2mm/s 以内、回転盤は約±0.1deg/s 以内になっており、より大型でありながら海洋構造物試験水槽²⁻⁵⁾に劣らぬ高い精度で曳引台車が運転・制御されていることがわかる。

以上は任意データモードの例であるが、通常の模型実験で用いられる直進や CMT モードでも事前に運転データを作成・点検の上運転されるため曳引台車の運転精度は同程度であると考えている。

4.7 付属設備

運転開始時にはブザーが鳴り水槽全体にこれを知らせると共に運転中は主台車4隅の回転灯が周囲に注意を促す。主台車周りには4台と副台車上に1台、水槽建屋東壁上部に1台の計5台のカメラが設置されこれらの映像を主台車計測室で監視できる。主台車両端の昇降位置と計測室、ならびに副台車と計測室を結ぶインターホンを設けている。

大型海洋構造物模型の設置作業等のため主台車中央部に最大吊り荷重 19.6kN(2tf)(実験準備場側・西側)および 9.8kN(1tf)(造波機制御盤室側・東側)のクレーンを設けている。

4.8 まとめ

実海域再現水槽の曳引台車は幅 40m の水槽をまたぐ他に類を見ない大型の曳引台車である。大型ではあるが、当初計画したとおり、多様な機能を実現し高い精度で運転・制御できることが確認できた。多彩な運転モードと計測・制御機能等を合わせて今後さまざまな目的を持った実験に対応し、新しい成果・知見等を提供していくことが期待できる。

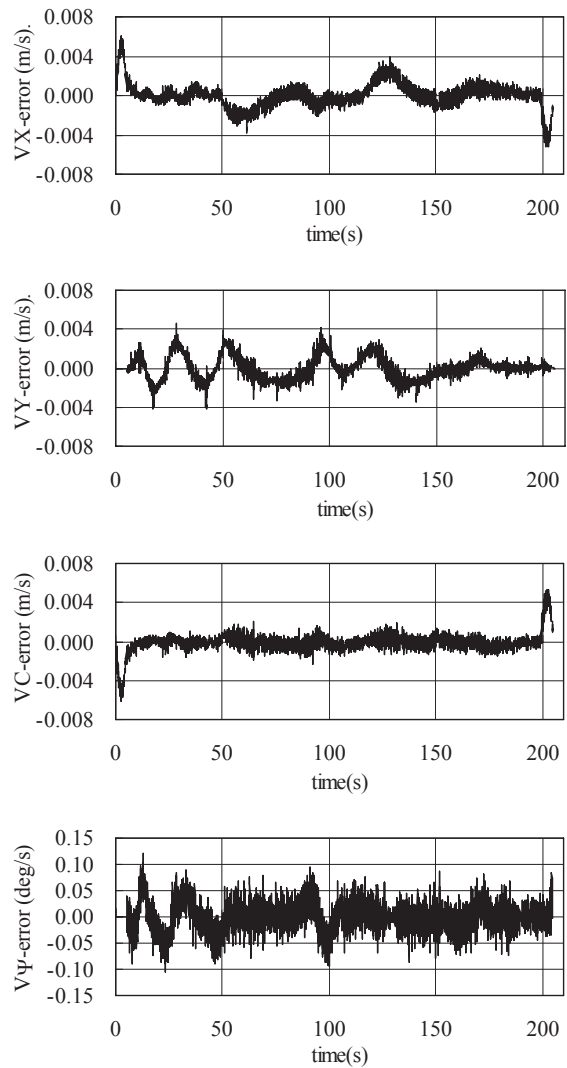


図-4.10 主台車速度誤差(VX-error)と副台車速度誤差(VY-error)、合成速度誤差(VC-error)、回転盤速度誤差(VΨ-error) (任意データ運転時)

5. 造波装置

実海域再現水槽には、実海域波浪場を水槽内に高精度で再現するために、要素幅 0.55m のフラップ式吸収造波機を水槽の全周に 382 台配置した多分割型吸収造波装置を設置している (図-5.1)。

造波装置の基本仕様を表-5.1 に示す。本装置は、水槽中間棚上に設置した 382 枚の造波板の上部の前後運動を AC サーボモータによるボールネジ駆動で個別に制御するフラップ型スネーク式で水槽内に目標とする波浪場を生成するものであり、造波周期は 0.43sec~4.0sec、最大波高は 0.35m、連続運転時間は 30 分となっている。

本装置の計画に当たって、基本的には十分な運用実績のある当所深海水槽に設置されている多分割型吸収造波装置^{6),7)}を踏襲しつつ、本水槽の造波装置として必要な性能・機能を有するように発展・拡張させることで、信頼性を確保することにした。その上で造波板背面に発生する波の消波方法や造波板等の保守に関連する構造等については、深海水槽における運用経験を踏まえて検討を加え、設計に反映させた。

ここでは、造波装置の構成、吸収造波機能やソ

フトウェアの概要を説明した後、本装置の操作方法や造波例を紹介する。

5.1 装置構成

本造波装置は、造波機構部(造波板、駆動装置)及び造波制御・運転部(制御盤、操作盤他)で構成されている。以下、構成装置について説明する。

5.1.1 造波板配置

図-5.2 に造波板の配置を示す。試験水面をできるだけ広く取るため、造波板と水槽本体の側壁との間隔は 2m 以下とし、造波板間距離は、東西方向の長辺部で約 76.2m、南北方向の短辺部で約 36.0m 以上を確保している。また、水槽角部においては短辺部と長辺部の間を半径 7.70m の円弧で接続するように造波板を配置している。造波板の底部は標準水位で水面下 1.60m となる水槽中間棚上に埋め込まれた金物とヒンジ結合されており設置精度は±2mm 以内となっている(図-5.3)。

なお、模型船の出入りがある幅 1.20m のトリミングタンク前方には造波板を設置せず、模型船の出入りの際に上下する水密扉に消波材を取り付けている(図-5.4)。

5.1.2 造波板及び周辺機材

造波板(図-5.5)は、上部が駆動装置と直接連結されている本体(幅 0.35m、高さ約 2.14m)及び隣接する造波板本体間を結合している連結部で構成されており、要素幅は 0.55m となっている。材質は本体、連結部ともに SUS304 である。

連結部は、隣接する造波板が位相差をもって運転された際に造波板間に段差が生じないように扇子状に開閉する機構を備えており、また、テフロンシートを挟み込むことにより、連結機構部から背面に漏水しないような構造となっている(図-5.5)。

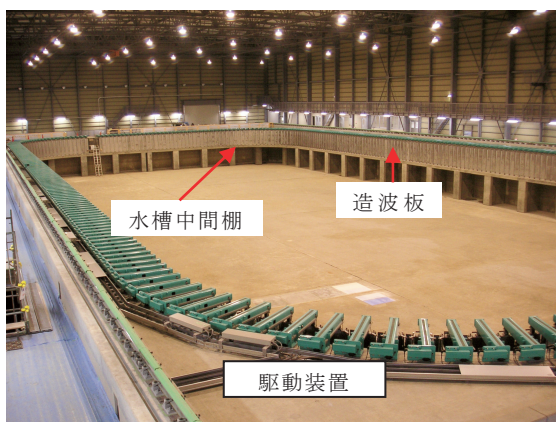


図-5.1 造波装置設置状況

表-5.1 造波装置の基本仕様

造波方式	フラップ型スネーク式(要素幅 0.55m)
駆動方式	AC サーボモータ・リニアガイド付きボールネジ駆動
造波周期	0.43sec~4.0sec
最大波高	0.35m*
吸収能力	波エネルギー 97%以上**
制御方式	自動吸収制御及び造波板位置制御(吸収制御なし)
造波機能	規則波、長波頂不規則波、短波頂不規則波、集中波、任意波、合成波***
連続運転時間	30分

*: 造波板に対して正面に波長 10m 以下の規則波を発生させた場合(但し、砕波限界を除く。)

** : 造波機正面から入射する周期 0.8sec~2.53sec の規則波に対する吸収能力

*** : 規則波~任意波まで最大 5 種類を重ね合わせることが可能

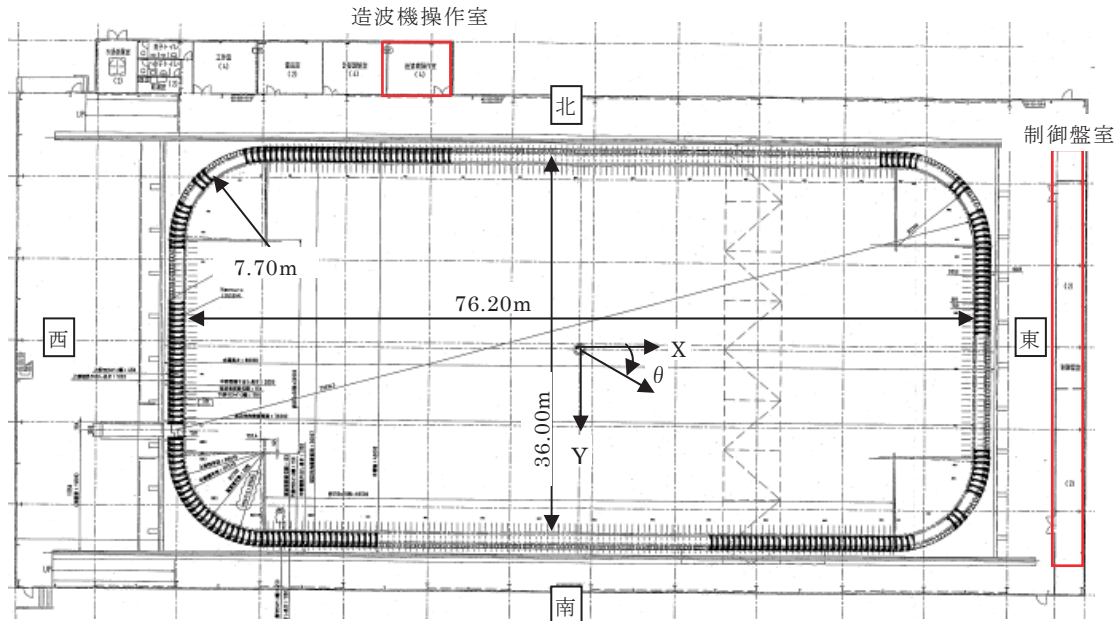


図-5.2 水槽平面図及び座標系

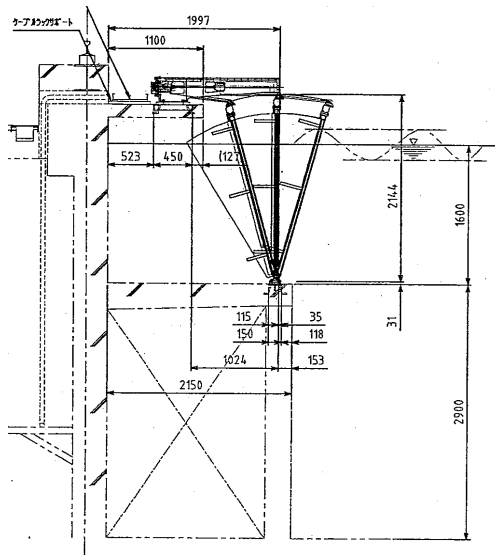


図-5.3 造波板取付図 (長辺部)

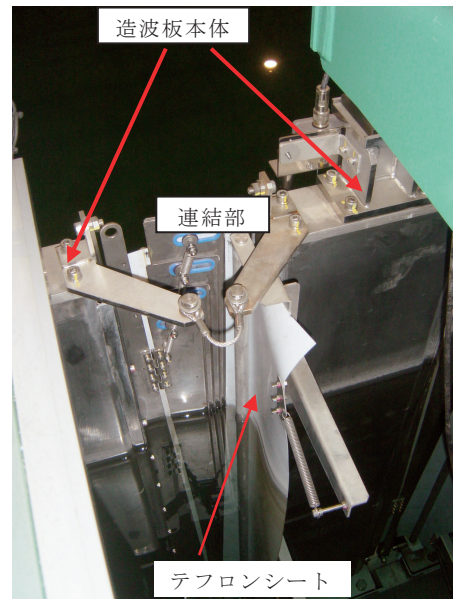


図-5.5 造波板本体及び連結部



図-5.4 トリミングタンク水密扉に取付けた消波材

造波板に付属する装置としては、吸収造波を行う際の造波板位置での水位変動を計測するため、各造波板本体の前面(水槽側)には制御用波高計を取り付けている(図-5.6)。

造波板と水槽本体側壁の間には、造波板背面に発生する波を吸収するために消波装置を取り付けている(図-5.7)。消波装置の設計に関しては、実機を用いた試験を実施して十分な消波効率を有することを確認した。

なお、制御用波高計の他、造波板本体及び連結部についても保守整備を考慮して、水槽水位を下げなくても個別にマウントに取り付け、取り外し

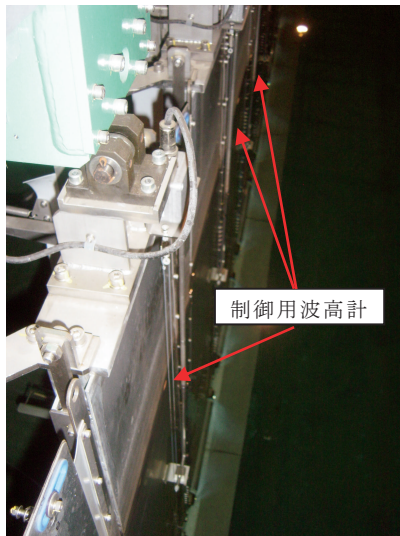


図-5.6 制御用波高計



図-5.7 水槽側壁に取付けた消波装置



図-5.8 駆動装置及びアクセス用カバー

が可能な構造とした。また、造波機駆動部から造波板までの間には人間が乗っても壊れないカバーを取り付け、保守整備等のため造波板前面まで容易にアクセスできるようにしている（図-5.8）。

5.1.3 駆動装置

駆動装置は、各造波板に対し、それぞれ1台を

水槽上部棚に設定している（図-5.8）。駆動電動機は1.0kW-1500rpmのACサーボモータであり、タイミングベルトを介したりニアガイド付きボールネジ駆動方式で造波板本体上部に前後運動を与える。

また、駆動装置には造波板のストロークオーバー時に対応する安全装置として、ゴムバッファによる機械的ストッパーを取り付けている。

なお、当所の深海水槽における運用経験を踏まえ、モータの取り付け方法など深海水槽の装置より保守整備を容易に実施できる構造となっている。

5.1.4 制御盤

指定された造波信号と造波板本体前面に取り付けた制御用波高計の信号及び駆動装置に取り付けた造波板の位置、速度を検出するエンコーダの信号を基に造波板の動きを制御する制御ユニットを16台分まとめて、制御盤を構成する。その、制御盤を水槽東側の空調設備を備えた制御盤室（図-5.2中の右側赤枠）に24台設置している。

制御盤は、造波板ストロークオーバーやモータ過負荷を検出し、運転を停止する電氣的ストッパー機能や運転スタート・ストップ時に緩起動・緩停止する機能も有している。

5.1.5 操作盤、台車上操作器等

操作盤（図-5.9）は造波機操作室（図-5.2中の上側赤枠）に設置しており、制御用電源及び動力用電源のOn/Offの他、操作場所の選択、制御方式の切り替え、造波装置の運転開始、停止等を行う。なお、制御用電源及び動力用電源のOn/Off以外の操作に関しては、曳引台車上の計測室に設置した台車上操作器（図-5.10）でも行うことができる。また、造波装置の運転開始、停止に関しては、水槽内で自由に持ち運びができるリモコン（図-5.11）でも操作可能である。

造波機操作室には、造波信号作成用パソコンを



図-5.9 操作盤



図-5.10 台車上操作器(右側)



図-5.11 運転開始・停止操作リモコン

設置しており、造波信号の作成・制御盤への転送の他、装置の起動に必要な制御データの転送にも用いる。なお、曳引台車上の計測室に設置した水槽施設制御システム(第7章で説明)用パソコンからも同様の操作を行うことができる。

5.2 吸収造波機能

本造波装置は、①規則波、②一方向不規則波、③多方向不規則波、④2次元・3次元集中波、⑤任意波、⑥合成波を吸収造波するための造波信号生成・制御機能を有しており、5.3節で説明するソフトウェアを用いて設定を行う。その際、吸収造波のために、造波板の制御モードを指定する。また、波を発生させないで吸収のみを行う⑦純吸収モードでも使用可能である。

本節では、まず、本装置の造波板の制御モード及び吸収性能について説明した後、造波種類ごとに造波信号生成・制御機能をまとめて紹介する。

5.2.1 制御モード及び吸収性能

(1) 制御モード

本装置における造波板の制御モードには、①位置制御モード、②吸収制御モード、③多方向吸収制御モードがあり、操作盤及び車上操作器で切り

替えることができる。これらの制御モードの概要は、以下の通りである。

①位置制御モードでは、造波板の変位を指令信号として駆動装置に与えて造波板の制御を行う。その際、造波板による波の反射を考慮しない、すなわち吸収制御は行わない。

②吸収制御モードでは、各造波板位置での目標波の水位変動及び目標波造波のための造波板速度を指令信号として造波機駆動部に与えて造波板の制御を行う。その際、水槽内からの造波機に入射する波は、各造波板に垂直に入射すると仮定して、各造波板前面に設置した波高計で計測した水位変動の計測データを基に波の吸収を行う。

③多方向吸収制御モードは、指令信号の駆動装置への与え方は吸収制御モードと同じであるが、両隣の造波板に設置した波高計で計測したデータも含めた計3つの位置での水位変動のデータから推定した波向を考慮して、造波板に入射する波の吸収を行う。

(2) 吸収性能

本装置の吸収性能は、造波機正面から入射する周期0.80 sec~2.53 secの規則波に対し波エネルギーの97%以上であり、他の周期範囲においても波エネルギーの85%以上の吸収性能を確保している。また、造波機に対し斜めから入射する波についても十分な吸収性能を有し、斜め45度から入射する波長5mの規則波に対して波エネルギーの85%以上の吸収性能を確保している。

5.2.2 造波信号生成・制御機能

本装置の造波信号生成・制御機能を以下にまとめた。

(1) 規則波

設定した①波周期あるいは波長、②波振幅、③波向を元に造波信号を生成し、一方向規則波を造波することができる。波向は図-5.2に示した座標系で指定する。なお、最大1024個の規則波を重ね合わせた多方向規則波の造波も可能である。その際、上記のパラメータの他、個々の規則波の④初期位相についても設定できる。

(2) 一方向不規則波

設定した①周波数スペクトル型、②パラメータ(有義波高、平均波周期等)、③波向、④成分波の数及び位相を規定する数値を元に造波信号を生成し、一方向不規則波を造波することができる。周波数スペクトル型としては、ITTC型、ISSC型、JONSWAP型、Bretschneider-光易型、Ochi-Hubbleの6パラメータ型スペクトルが指定できる。なお、これらのスペクトル型の代わりに任意形状の周波数スペクトルも設定可能である。

(3) 多方向不規則波

設定した①周波数スペクトル型、②方向分布関数、③パラメータ（有義波高、有義波周期、主方向等）、④成分波の数及び位相を規定する数値を元に造波信号を生成し、多方向不規則波を造波することができる。設定できる周波数スペクトル型は、一方向不規則波と同一である。また、方向分布関数としては、コサイン分布型、光易一合田型が指定できる。

なお、一方向不規則波の場合と同様に、任意形状の周波数スペクトルや任意形状の方向分布関数も設定可能である。また、信号作成方式⁸⁾としては、Double summation 法と Single summation 法が選択可能となっている。

(4) 集中波

水槽の 1 点にエネルギーを集中させる焦点波（3次元集中波）及び長波頂波の集中波（2次元）のいずれかを選択して造波することができる。設定項目としては、①集中位置、②集中時刻、③成分波パラメータ（成分波の周波数範囲等）の他、2次元集中波では波向き、3次元集中波では波エネルギーの方向分布を指定することができる。

(5) 任意波

各造波機に造波信号の時系列データを直接与えて、造波板を任意に制御して造波することができる。指令データとしては造波板の位置データの他、造波板位置での水位データや水位データと造波板速度を設定できる。

(6) 合成波

上記の波（規則波、長波頂不規則波、短波頂不規則波、集中波、任意波）について、最大 5 種類を重ね合わせた合成波を発生させることができる。

(7) 純吸収モード

強制動揺試験、平水中航走試験等によって模型船が造る波を吸収するモードとして運転することができる。制御モードとしては吸収制御モードと多方向吸収制御モードが選択できる。

5.3 ソフトウェア

本造波装置用に用意されているソフトウェアは、①造波機設定ソフトウェア、②造波ソフトウェア、③任意波・合成波ソフトウェア、④計測ソフトウェア、⑤解析ソフトウェア、⑥修正ソフトウェア、⑦変換ソフトウェアの 7 種類である（図-5.12）。これらのソフトウェアは、造波機操作室の造波信号作成用パソコン及び曳引台車上の計測室の水槽制御システム用パソコンにインストールされている。各ソフトウェアの概要は、以下の通りである。

①造波機設定ソフトウェアでは、吸収制御用の

ゲインや緩起動・緩停止時間等の制御用パラメータを制御盤へ転送する他、各造波機のサーボモータの異常やオーバーストロークの発生の有無を確認することができる。

②造波ソフトウェア及び③任意波・合成波ソフトウェアでは、造波板の制御モードを指定した上で、5.2.2 項で説明した造波信号作成・制御のための設定項目を入力するとともに、造波信号データを制御盤へ転送する。

④計測ソフトウェアは、本造波装置用に準備した 32ch の AD ボードを経由してデータ計測を行う際に使用するソフトウェアであり、計測したデータの時系列波形の確認や波高計のキャリブレーションを行う機能も備えている。

⑤解析ソフトウェアでは、計測データの統計解析、周波数スペクトル解析、入反射分離解析及び方向スペクトル解析を行うことができる。なお、方向スペクトルの解析法⁸⁾としては、拡張最尤法（EMLM）、拡張最大エントロピー原理法（EMEP）、バイズ型モデルによる推定法（BDM）を選択できる。

⑥修正ソフトウェアは、不規則波を造波する際に、生成波浪の計測・解析結果と目標値を比較して造波信号の周波数スペクトルや方向分布関数の補正を行う際に使用する。

⑦変換ソフトウェアは、バイナリー形式となっている計測データのシステムファイルのテキストファイルへの変換や逆にテキストファイル化した計測データをシステムファイルへ変換する際に使用する。



図-5.12 ソフトウェアの画面（左上：造波ソフトウェア、右下：解析ソフトウェア）

5.4 操作方法

造波装置の基本的な操作フローは、①装置の起動、②操作場所の選択、③造波信号データの作成、制御盤への転送、④制御モードの切り替え、⑤運転開始・終了、⑥装置の停止である。

装置の起動（制御用電源投入、制御データの転送、動力用電源投入）、停止（制御用電源及び動力用電源の切断）のみ造波機操作室（図-5.2 上側赤枠）の操作盤（図-5.9）及び造波信号作成用パソコンを用いて行う必要があるが、それ以外の操作は、造波機操作室の他、曳引台車上の計測室（図-4.1 左側）でも実施できる。

操作場所の選択は、操作盤あるいは曳引台車上の計測室に設置した台車上操作器（図-5.10）で選択することができる。

造波信号データの作成、制御盤への転送は、5.3節で説明した造波ソフトウェア及び任意波・合成波ソフトウェアがインストールされた造波機操作室の造波信号作成用パソコンあるいは、第7章で説明する水槽施設制御システム用パソコンで行う。造波信号データはファイルとして管理することができ、水槽施設制御システムによる運転時には事前に準備した造波信号データファイルを指定する。

造波信号データを制御盤への転送した後、造波機の制御モードを造波信号データの作成時に指定したモードに切り替える。制御モードの切り替えは、操作盤あるいは車上操作器のボタンを押すことで実施できる。

造波装置の運転・停止は、操作盤、台車上操作器のほか、水槽内で持ち運びができるリモコン（図-5.11）で行うことができる。なお、操作盤、台車上操作器では、外部トリガ信号の入力が可能になっており、このトリガ信号により造波装置の運転・停止ができる。

5.5 造波例

本造波装置による造波例として、①建造目的である実海域波浪場を再現した例と②本装置による水面制御能力を示す文字造波について紹介する。なお、造波特性については別途報告する予定である。

5.5.1 実海域波浪場の再現

実際の海域の波浪推算データを基に実海域波浪場を再現した例を図-5.13に示す。

図-5.13は、波浪推算により求められた実海域の方向波スペクトルの周波数スペクトル及び方向分布関数を入力データとして Double summation法で造波信号を作成し、有義波高 $H_{1/3}$ が 0.105m、ピーク周期 T_p が 1.56sec、平均波向 θ_m が 228degの多方向不規則波を発生させた時の写真である。図-5.14に副台車に取り付けた波高計アレイにより水槽の東西方向の中心線上（図-5.2に示した座標系の X 軸上）の水槽中央（ $Y=0m$ ）及び東西方向に 27.5m 離れた位置（ $Y=\pm 27.5m$ ）の 3

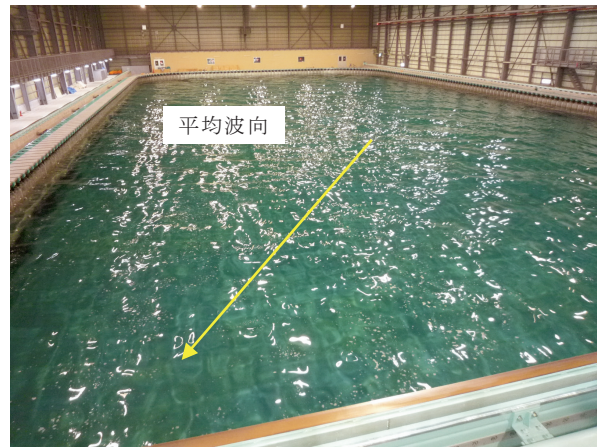


図-5.13 実海域波浪場の再現例
($H_{1/3}=0.105m$ 、 $T_p=1.56sec$ 、 $\theta_m=228deg$)

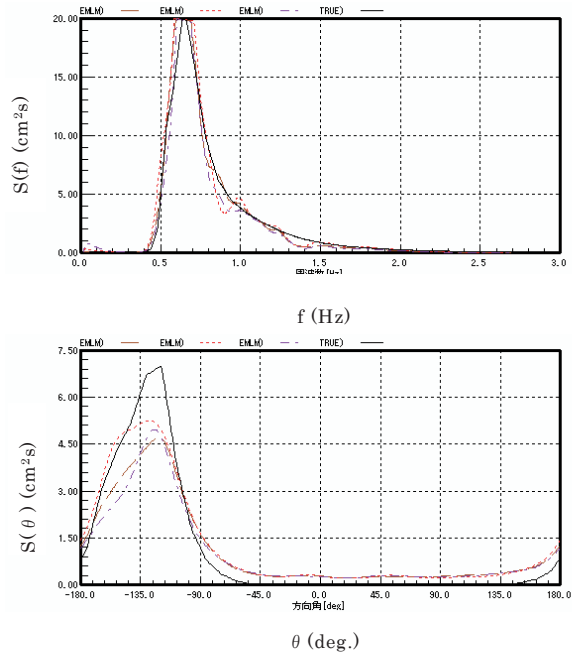


図-5.14 再現した実海域波浪場の計測結果



図-5.15 任意波の造波例
(文字造波、海上技術安全研究所ロゴマーク)

か所で波高計測を行い EMLM で解析した結果を示す。上図は横軸に周波数 f をとったパワースペクトル $S(f)$ を、下図は横軸に方向角 θ としたパワースペクトル $S(\theta)$ を示している。それぞれ破線が水槽中央の値、点線が水槽中央から 27.5m 東側（波上側）の値、一点鎖線が水槽中央から 27.5m 西側（波下側）の値、実線が入力した目標値を示している。方向角に対する分布のピーク付近に差異が見られるが、発生させた方向波スペクトルと目標とした実海域の方向波スペクトルとの一致度は概ね良好であり、本水槽で実海域波浪場が再現できることが分かる。

5.5.2 文字造波

各造波機に造波信号の時系列データを直接与えて造波板を任意に制御して造波した例を図-5.15 に示す。

図-5.15 は、時間逆転法⁹⁾による造波信号で発生させた 1 点集中波を多数重ね合わせることで水槽中央の水面に当所のロゴマークを描いた際の写真である。328 台の多分割造波機により繊細な水面形状の制御が可能であることが分かる。

5.6 まとめ

実海域再現水槽に設置された造波装置の構成や吸収造波機能等について概要を紹介した。

実海域再現水槽の造波装置は、模型船を航走させられる角水槽の全周に多分割型吸収造波機を配置して優れた造波機能を持たせた他に類を見ない装置であり、実海域における船舶の性能評価や海難事故分析等様々な目的を持った実験に対応可能となっている。今後、社会ニーズ、行政ニーズに対応した成果・知見等を提供していけるものと考えている。

6. 送風機

6.1 はじめに

「実海域再現水槽」と言う名の通り水槽内に実海域状況を模擬するためには、対象物体周辺で風を起こす必要がある。対象物体としては、航行中及び停止中の船舶・海洋構造物模型等が考えられるが、移動する物体に対して同一状態の風を定常的に当てるには、その物体の動きに追従した上で送風する必要がある。そこで、製作する送風機は、曳引台車（主台車）に取り付けられ移動物体への追従が可能な副台車に連結させることとした。この時、副台車の機動性を損なうことなく上述の状況を可能とするため、送風機は軽量で、各種実験

に対応するため十分な風量を有することが必要である。さらに送風機から排出される風は、試験を行う上で許容できる程度の風の揺らぎであることが望ましい。

以下にシステム構成、操作方法等を記載する。

6.2 送風機仕様とシステム構成

送風機の仕様を表-6.1 に示す。4m 送風機、8m 送風機の設置状態を図-6.1、図-6.2 に示す。さらに送風機単体の概要と送風口の様子を図-6.3 に示す。

送風機は、多種の実験に対応可能となるよう計測ポイントが想定される副台車を取り囲むように設置できる。図-6.1 中の上図にあるように副台車の短辺から風を吹かせる場合には、4m 送風機を使用する。また、長辺側から送風させる場合には、図-6.2 のように 8m 送風機を使用する。

初めに図-6.1 の 4m 送風機について述べる。取り付け時には、副台車の長辺両端に作業用台車を設置し、作業用台車が副台車を挟み込む様な状況とする。4m 送風機の左右端を作業用台車に固定する。作業用台車と副台車は、副台車の上部レール付近にあるステンレス製ジョイント棒によって固着されている。図-6.1 では、送風機は副台車の短辺、右側に設置されているが、図-6.4 のように副台車の左側（西側）に設置することも可能である。送風機は作業用台車に固定されているため、送風高さは作業用台車ごと上下させることにより調整を行う。高さに関しては、送風機下端が基準水面から 1m 高さまで任意の位置で、送風機を停止・設置させることが可能である。

図-6.2 に示す 8m 送風機は、副台車の長辺方向から風を起こしたい場合に使用する。4m 送風機と 2m 送風機 2機が連結されて 1 体となった 8m 送風機は、水平角度変更機構の付いた専用の作業用台車に取り付ける。このとき、図-6.5 のように水平風向角は、 $\pm 30\text{deg}$ まで任意の角度で変更することが可能である。8m 送風機専用の作業用台車の位置を変更することにより、副台車の両長辺方向から送風することが可能である。作業用台車と副台車は、4m 送風機の場合と同様に上部のジョイント棒により連結している。このジョイント棒の取り付け位置を変更することにより、送風口と副台車の間を最大 3m 空けることができる。4m 送風機の場合と同様に、送風方向の上下角度は、水平から ± 30 度まで変更できる。

4m、8m 送風機のそれぞれの状態で 4 機、8 機の直径 80cm 送風ファンが回る。このとき、名称の通り水平方向の有効送風範囲は 4m 及び 8m である。それぞれの送風ファンは、整流機構を兼ね

たアルミ製の外枠で覆われており、送風口は縮流された形状で、高さ方向の有効送風範囲は 0.5m である (図-6.3 参照)。上下風向角は、送風口の

ルーバを調整することにより±30deg まで変化できる。後で詳細に述べるが、停止時送風口前端から 1m 離れた地点で 10m/s の風速を確保している。

表-6.1 送風機仕様

項目	仕様	備考
風の種類	定常風及び変動風	送風機 1 機ごとの回転数制御可能
有効送風範囲	幅：4m または 8m	送風機 4 機、または 8 機で構成
	高さ：0.5m	
送風角度 (上下)	±30deg	
風速	10m/s 以上を確保	基準点 (幅中心で送風口から 1m 離れた地点) において
質量 (幅 4.0m 時)	約 670kg	設計時質量、本体のみ
質量 (幅 8.0m 時)	約 1300kg	〃
消費電力	1200W	1 基あたり
使用電圧	AC200V	

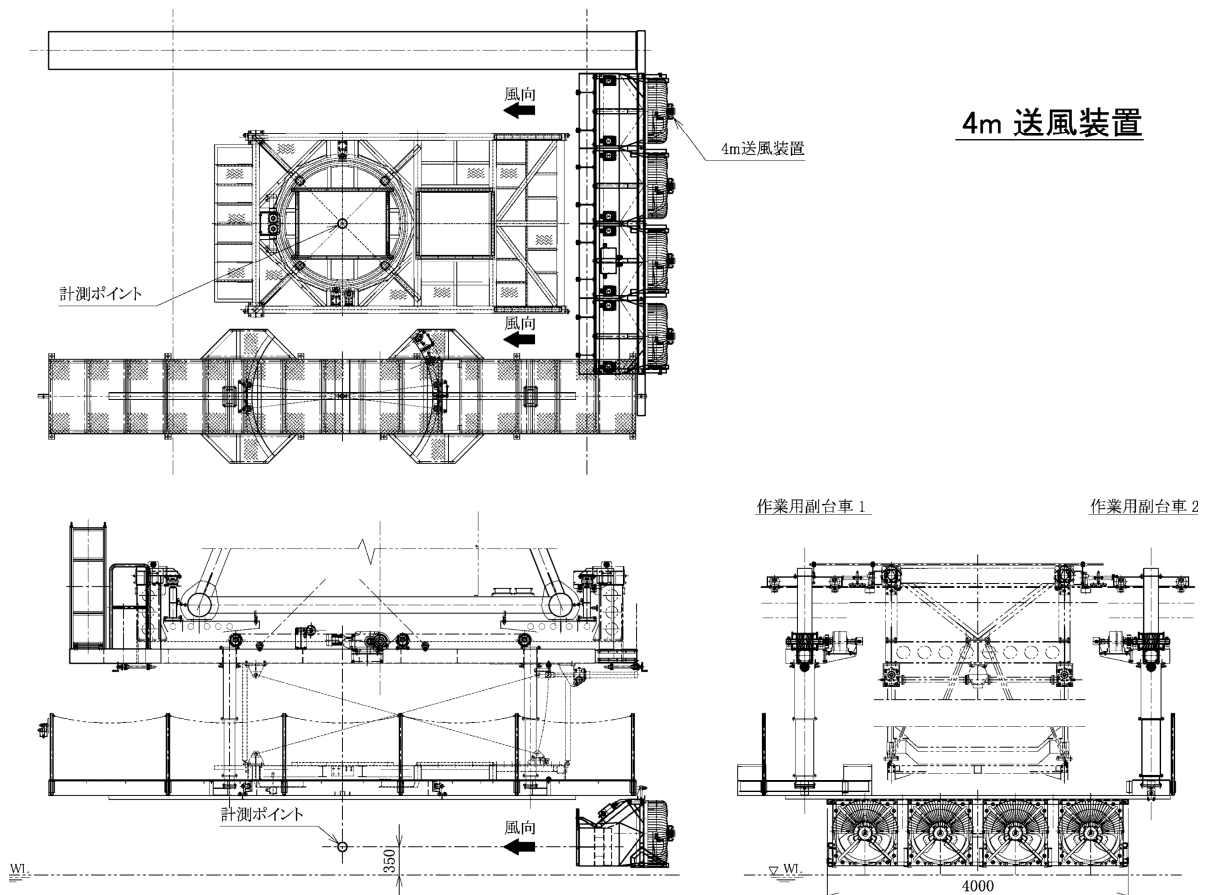


図-6.1 4m 送風機の外観・設置状態

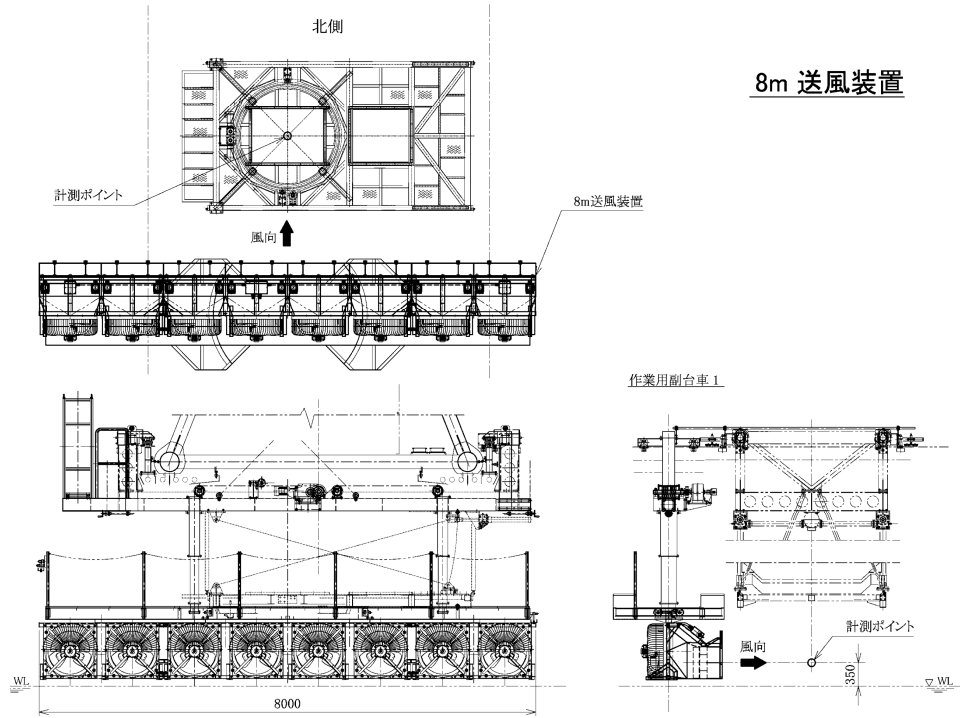


図-6.2 8m送風機の外観・設置状態

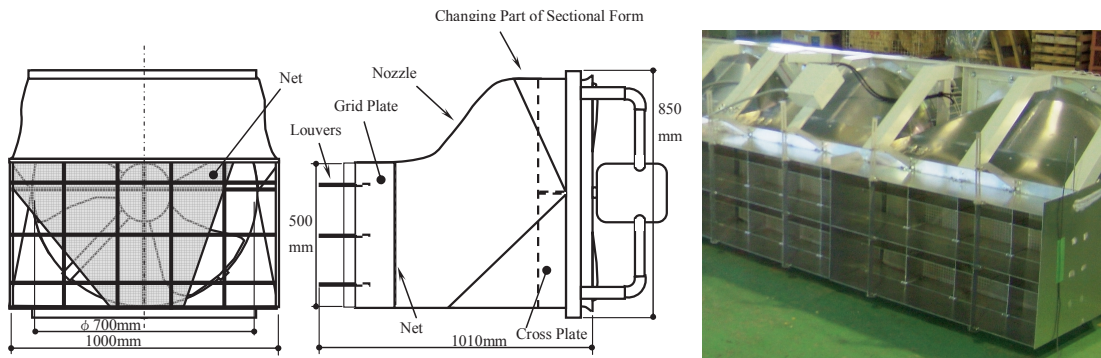


図-6.3 送風機単体及び送風口の様子

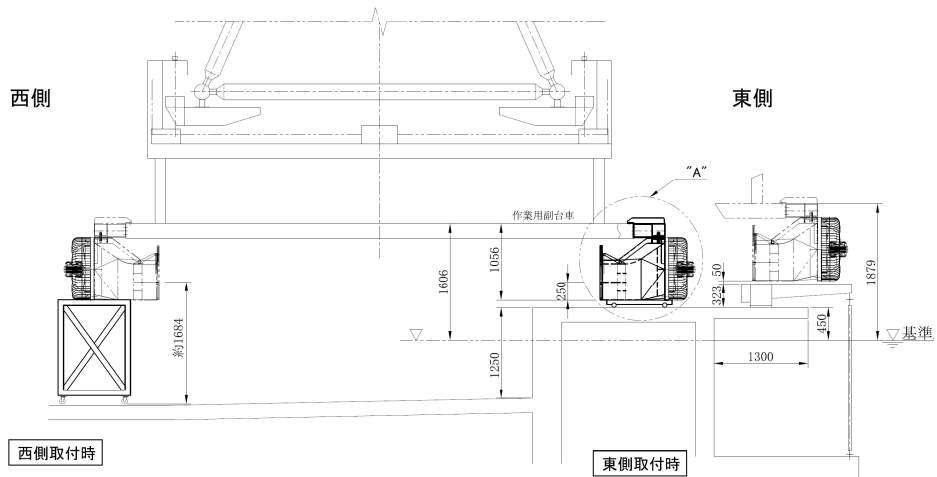


図-6.4 4m送風機の左右側（東・西側）設置状態

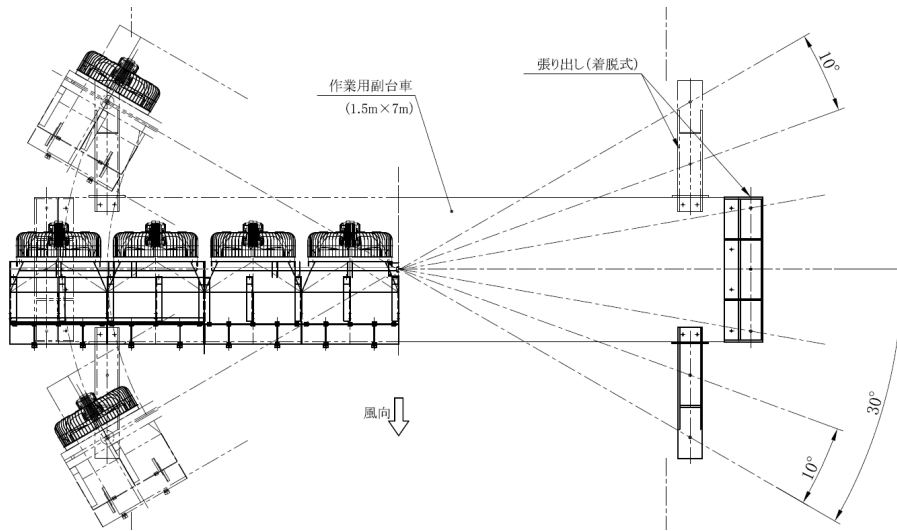


図-6.5 8m送風機の水平送風角変更状態

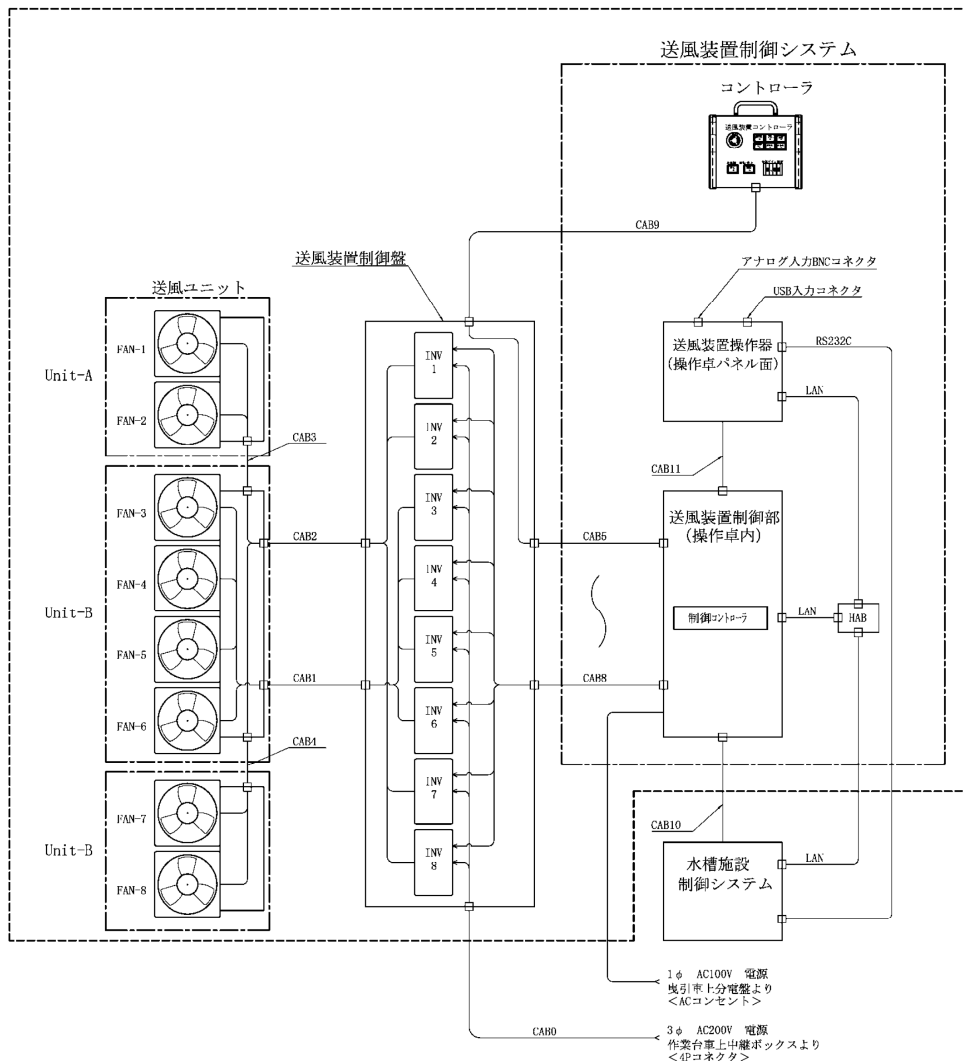


図-6.6 送風機のシステム構成図 (8m送風機を例として)

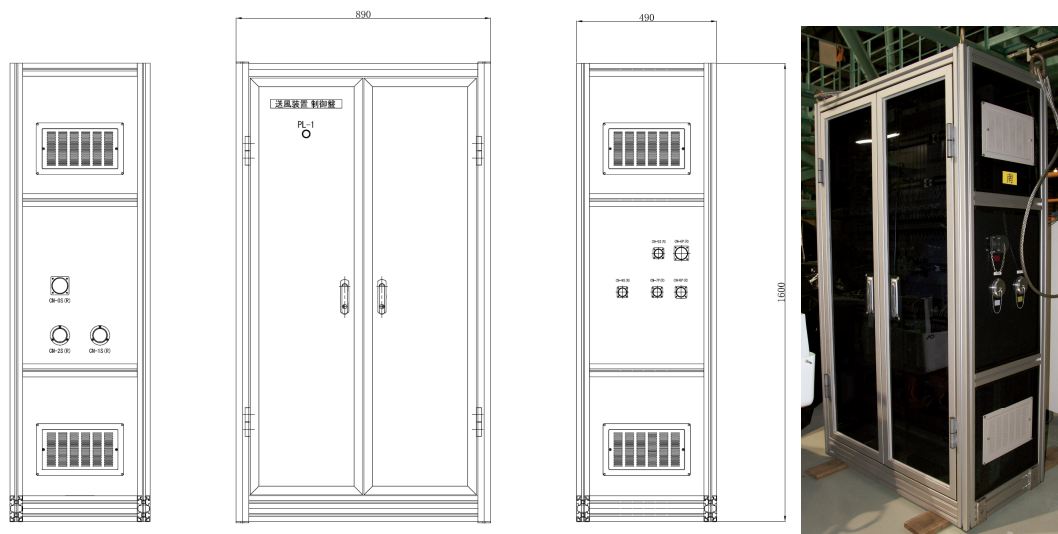


図-6.7 送風機の制御盤



図-6.8 曳引台車操作卓上の送風装置操作器

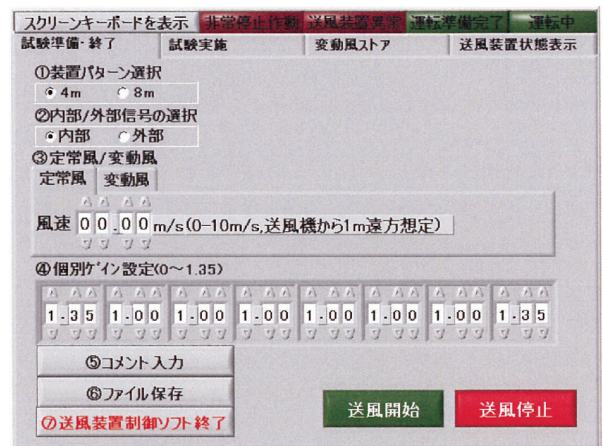


図-6.10 送風機の操作卓上制御プログラム操作画面例 (その1; メイン画面)

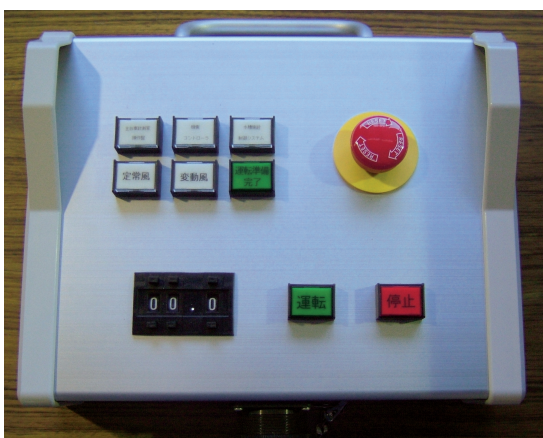


図-6.9 送風機のリモートコントローラ

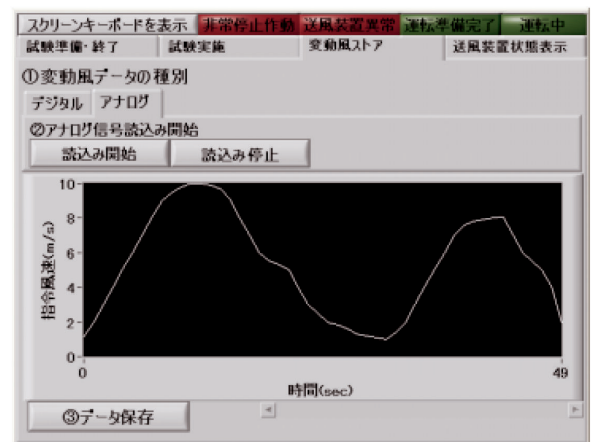


図-6.11 送風機の操作卓上制御プログラム操作画面例 (その2; アナログ信号読み込み画面)

図-6.6 に送風機のシステム構成図を示す。図-6.6 の中程に示されている送風機制御盤の外観を図-6.7 に示す。送風機は、以下に示す箇所・方法により操作可能である。

- ・曳引台車操作卓上の送風装置操作器 (図-6.8 参照)

送風機を操作するための主装置である。全ての操作を管理する。

- ・水槽施設制御システム

実海域再現水槽での曳引台車や造波板の制御を同時に行うことができるシステムであり、送風機の動作も合わせて管理することが可能である。送風機の操作としては、送風装置操作器で設定・作成した送風制御ファイルの始動・停止のみを実行する。

- ・制御盤 (図-6.7 参照)

送風機のインバータを備える。送風機の始動、停止、風速変更のための周波数設定を行うことが可能である。

- ・リモートコントローラ (図-6.9 参照)

制御盤から約 10m の延長コードを用い、送風装置操作器以外の場所、例えば送風機付近等での遠隔操作を可能とする。送風機の始動、停止、風速変更のための周波数設定を行うことが可能である。

- ・無線通信付属のパソコンからの制御

専用ノートパソコンにより無線通信を使って、遠隔操作することが可能である。基本的には、走行台車操作卓上の送風装置操作器と同じ機能を有する。

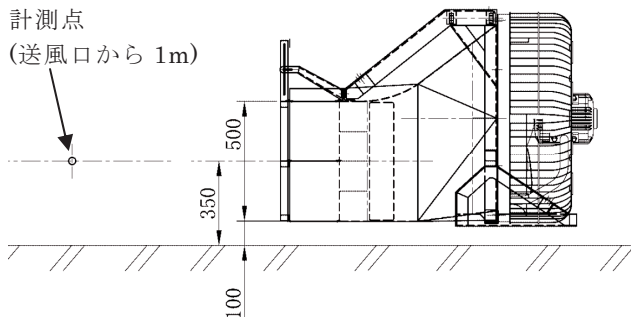


図-6.12 風速検定時の送風機設置状態の側面図

6.3 送風機の操作

主として送風操作は、曳引台車操作卓上の送風装置操作器で行う。モニタ操作は、タッチパネル形式となっており、送風パターンや内部・外部信号の選択等を行う (図-6.10、図-6.11 参照)。送風操作として以下の項目が実施可能である。

(1) 定常風

定常風の場合は、送風口から 1m 遠方点での目標風速をモニタ上で設定する。その際、送風機を横一列に並べた場合、端部では風の減速が生じる。そのため、均一な風速を水槽内で発生させることを目的として、個々の送風機の回転周波数を相対値により設定することが可能である (図-6.10 中、④個別ゲイン設定)。このとき、ゲイン値が 1.0 とは、目標風速の周波数値を意味する。必要送風領域において、同一風速を目指す場合においては、端部送風機の設定周波数を他の送風機よりも上げて、作動させることになる。

(2) 変動風

(2.1) 任意指令電子データを使った起動

実験開始前に予定した送風時系列がある場合に、テキスト形式の時系列データを送風装置操作器内に保存させておき、再生することで任意の指定送風が可能である。時系列データは、最大 8 機分の個別指令データを保存できる。また、それぞれの各ファン周波数を独立して変更できる。

(2.2) 外部アナログ指令を使った起動

送風装置操作器上にある BNC 端子から外部指令電圧により、任意に送風機への指令周波数を時々刻々変更することも可能である。ただし、BNC 端子からの外部指令は 1 系統であり、この

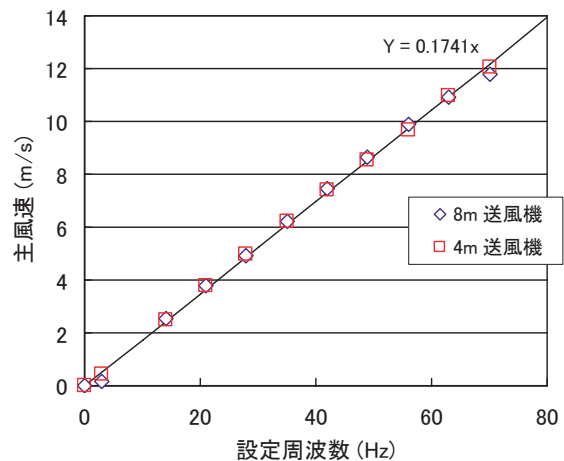


図-6.13 設定周波数と風速の関係

場合は個々の送風ファンの制御はできない。必要に応じて、全体ゲインによりファン全体周波数を変更することが可能である。

6.4 送風機の風速性能

図-6.12 に風速検定時の送風機設置状態の側面図を示す。水面に見立てた床面から送風口の下端は 100mm 上方にある。送風口から 1m 離れた地点、送風口高さ中心で、風速の計測を行った。

図-6.13 に 4m 送風機と 8m 送風機の設定周波数と風速の関係を示す。それぞれ幅方向の中心点で計測を行っている。このとき、両最端点の送風ファン 2 機については、ゲインを他のものに比べて 1.35 倍している。4m、8m 送風機の両結果はほぼ等しく、周波数に対してほぼ線形の関係がある。1m 離れた地点で、最大 12m/s の風を起すことが出来る。

6.5 まとめ

送風機の仕様、送風性能等について示した。副台車との連動させた使用を可能にすると共に、単に作業用台車に接続させ単独使用も可能であることから広範な実験に対応可能となっている。

7. 試験装置

7.1 はじめに

実海域水槽で実施する標準的な試験業務としては、船舶の実海域性能評価、海難事故再現・分析、水槽実験技術の高度化が挙げられる。これらの業務で行う模型試験に於いて基本的に使用する試験装置を解説する。

当該水槽の模型船標準長さ（標準的な模型試験が十分な精度で実施できる一般的船型の大きさ）は、3.0~3.5m としている。但し、波浪中抵抗増加試験は、抵抗増加量の計測精度を考慮し、模型船大きさは最大で 4.5m までとしている。また、副台車に搭載する想定荷重は、装置・機器・計測員含め 4.9kN(500kgf)と定められている。これらより、装置の設計では、対象とする模型船の大きさに適した計測容量等の仕様を定め、また、装置の軽量化にも努めた。

実験中、試験装置の操作や計測は主台車計測室で行う。このため、必要な装置について計測室からでも装置の操作や設定が行えるリモート操作箱を用意した。また、水槽制御システムによる各種制御信号で試験装置の操作を可能とした。

7.2 試験装置の概要

実海域水槽のために製作および改造された主たる試験装置の概要を表-7.1 に示す。示した試験装置は、一部を除き副台車ターンテーブルに設置して模型船の運動や流体力を計測する。

旧 80m 角水槽や他水槽で使用している試験装置についても、本水槽で活用するため整備を順次進めている。また、旧 80m 角水槽で無線による操縦や RTK-GPS を利用していた操縦性試験については、模型船自動追尾⁴⁾を利用した操縦性試験システムを新たに作製した。これより、効率的に試験が実施でき、正確な模型船位置計測が行える。

7.2.1 波浪中抵抗計測装置

波浪中抵抗計測装置は、平水中および波浪中を一般的な抵抗試験と同じ方法で模型船を曳航し、船体に働く抵抗と模型船の沈下量を計測する（図-7.1）。本装置は抵抗計測部の基本架台に、トリムガイドとハサミ式クランプ装置が一体で取り付く。これにより装置のコンパクト化を図ると共に副台車上に容易に設置可能とした。

模型船長さは最大 4.5m までを対象とした。実施する試験は直進時の平水中抵抗・自航試験と、海の 10 モードの試験方法¹⁰⁾の向波短波長 ($\lambda/L=0.5$ 以下)での波浪中抵抗試験、及び同状態での波浪中自航試験、さらに船体固定時(波浪中船体運動を拘束)の抵抗試験である。標準装備の抵抗検力計の定格容量は 10kgf である。船体沈下量(トリム・シンケージ)は、レーザー変位計 2 台で模型船の前後位置にて計測する。船体固定時の計測は、船体固定用試験治具を本装置に取り付け、この治具と模型船前後を検力計 2 台で固定して計測を行う。

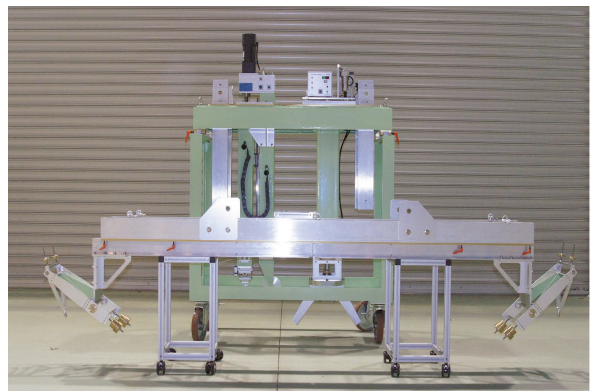


図-7.1 波浪中抵抗計測装置

表-7.1 試験装置概要

試験装置	数量	容量等	その他
波浪中抵抗計測装置	1台	抵抗(標準装備)10kgf トリム最大±250mm	波浪中抵抗・自航試験は 向波短波長中($\lambda/L=0.5$ 以下)
自航試験装置	1台	スラスト±5kgf、トルク±0.2kgf・m、 回転数 50rps	自航試験装置質量 6.6kg 制御装置質量 5kg
大型波力測定装置	1台	X ; ±10kgf、Y ; ±25kgf、 Mz ; ±20kgf・m	前後揺れ、左右揺れ、船首揺れ復原力 および定常力はサーボモータによる
波力測定装置	1台	X ; ±3kgf、Y ; ±7kgf、Mz ; ±4kgf・m	上記と同じ 小型模型船用
4自由度波浪外力計測装置	1台	主キャリッジ X ; ±20kgf、 Y ; ±20kgf、Mx ; ±10kgf・m 副キャリッジ X ; ±5kgf、Y ; ±10kgf	前後揺れ復原力はバネ機構 定常力はカウンターウエイト
模型船位置計測システム	1台	位置計測精度±2cm以下 同時計測点数 20点 複数の模型船も識別可	計測方法は光学式(多標点多カメラ実 時間計測)で、標点を撮影するカメラ は水槽天井に 16台設置
転動式慣動半径計測装置	1台	計測可能模型船質量 850kg	縦揺慣動半径、横揺慣動半径、船首揺 慣動半径を計測

7.2.2 自航試験装置

自航試験装置は、模型船プロペラのスラストとトルクを計測する(図-7.2)。自航動力計と駆動用 AC サーボモーターとその制御装置からなる。定格容量はスラスト±5kgf、トルク±0.2kgf・mである。標準長さの模型船に搭載可能な様に、できるだけ軽量で小型とし、電源は AC100V とした。自航動力計と駆動モーターは、専用の台座に取り付ける。



図-7.2 自航試験装置

7.2.3 大型波力測定装置

大型波力測定装置¹⁾は、装置に取り付けた模型船を波浪中で曳航して、正面向波中のみならず横波や斜波中においても模型船の運動や流体力を計測する(図-7.3)。想定模型船最大長さは 4.5m である。任意の波向き状態での実験を行う場合は、

一般に前後揺れと左右揺れ、船首揺れも誘起される。本装置はこれらの動揺モードに対しても復原力と定常力を与えることができる。

模型船をキャリッジからの 1本の曳航棒(ヒーブロード)で波浪中を曳航して模型船の運動(前後揺れ・左右揺れ・上下揺れ・横揺れ・縦揺れ・船首揺れの 6種類)と模型船に働く力(前後力・左右力・回頭モーメントの 3種類)を計測する。模型船は曳航によって旋回・斜航など任意の平面運動ができる。

上記の通り、波浪中で模型船を曳航すると、船体運動が生じるとともに、前後力・左右力・回頭モーメントに関しては定常的な力も発生する。本装置はこの 3種類の定常波力に等しい反力をサーボモーターを用いたサーボ機構により発生(定常反力)させることで、常に模型船の時間平均的な位置を計測範囲内の中心位置付近に調整することができる。この定常反力については、斜航等の波と模型船との出会い状態が変化しない場合はある一定値になるが、旋回等の運動をさせた場合には時々刻々ゆっくりと変化する。このような状況にも適当な制御信号を入力することでサーボ機構により対応できる。

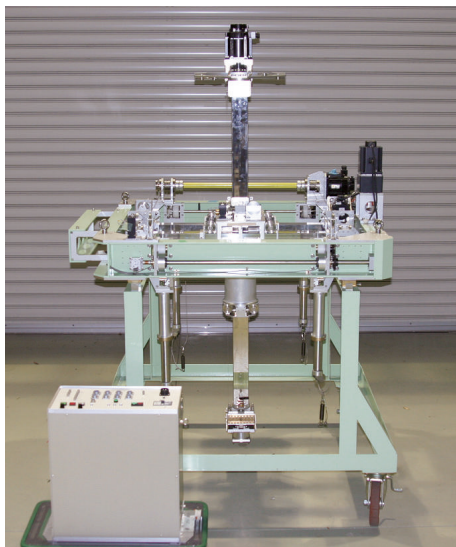


図-7.3 大型波力測定装置

7.2.4 波力測定装置

波力測定装置¹¹⁾は、試験の用途や装置の機構は大型波力測定装置と同じで、平成10年度に当所海洋構造物試験水槽で使用する目的で製作された。対象模型船長さは3mのため、大型波力測定装置に比べ装置が小型でキャリッジやヒープロッドの重量が軽量である。今後は実海域水槽で使用するため、副台車と水面の距離を考慮しヒープロッドを延長した。

前述も含め2台の波力測定装置は、使用する模型船の大きさや試験目的（例えば大波高試験）に適して使い分けることになる。これにより、効率的で計測精度の高い試験が行える。

7.2.5 4自由度波浪外力計測装置

4自由度波浪外力計測装置は、装置に取り付けた模型船を波浪中で曳航し、任意の平面運動をさせることができ、模型船の波浪中に伴う運動と流体力を計測する（図-7.4）。想定模型船長さは3.5m程度とした。装置の機構は模型船前後方向に動くキャリッジ式で、模型船の大きな波浪外力に耐えるためキャリッジを前後2台配置（主・副キャリッジ）した。そこからのヒープロッドで模型船を曳航する。計測は、模型船の前後揺れ、上下揺れ、縦揺れ、横揺れの4種類の運動（4自由度）と、前後力、左右力、横揺れモーメントの3種類の力、模型前後位置で計測される左右力から求められる回頭モーメントである。

本装置では、波浪中曳航時の模型船前後方向に働く定常力に等しい反力をカウンターウェイトで調整し、その復原力をパネ機構によって発生させている。前記の波力測定装置に比べ運動の自由度

が少なく、かつ複雑なサーボ機構が無いため、取り扱いが容易である。

他の機構として、模型船の前後揺れ、縦揺れ角、横揺れ角を固定できる。例えば前後揺れを固定することで、平水中、波浪中における斜航試験やCMT、PMMの操縦流体力計測にも利用でき、多用途な試験に応用可能である。



図-7.4 4自由度波浪外力測定装置

7.2.6 自動追尾試験用クランプ装置

自動追尾試験用クランプ装置はワイヤー式クランプ装置で、曳引台車が自由航走する模型船を自動追尾する試験時、副台車に模型船をクランプ（拘束）するために用いる。曳引台車の発進時に模型船前後をワイヤーでクランプして模型船を加速させ、加速終了後はクランプを緩め模型船を自由にして試験を行い、試験終了後はクランプして曳引台車を減速させ、模型船を停止する。なお、曳引台車は模型船上を自動で追尾しているため、クランプ位置と模型船の相対位置は大きく変わらない。本装置はワイヤー過荷重時の巻き取り自動停止や巻き取り速度の調整機能を持つ。なお、大波力測定装置と波力測定装置、4自由度波浪外力計測装置についても、本機能とほぼ同様なワイヤークランプが装備されている。

7.2.7 模型船位置計測システム

模型船位置計測システムは、曳引台車を利用せず水槽で走行および運動する模型船上の複数の計測点（標点）の水槽座標系における3次元位置を同時に計測するためのものである。計測方法は光学式（多標点多カメラ実時間計測）で、標点を撮影するカメラは、水槽の水面から高さ約12m位置

に計16台設置した。

基本性能を以下に記す。

(1)計測範囲

水平範囲：水槽中央部の長辺方向56m、短辺方向21mの矩形範囲

鉛直範囲：基準水面から高さ2mの範囲

(2)計測点とその数

同時に計測できる標点の数は20点以上。標点として発光式マーカーを模型船上に設置

(3)計測周波数

1~20Hz(5段階)

(4)位置計測精度

最大誤差±2cm以下

模型船位置計測システムの解析および出力に関して、模型船の任意点の水槽座標系における3次元位置と速度および模型船の姿勢角(縦揺れ角・横揺れ角・方位角)と角速度等を実時間・計測周波数で算出・表示できる。これらは、同時刻水槽上にある複数の模型船について算出可能である。

7.2.8 転動式慣動半径計測装置

転動式慣動半径計測装置は、模型船の1)縦揺慣動半径(k_{yy})、2)横揺慣動半径(k_{xx})、3)船首揺慣動半径(k_{zz})を測定する(図-7.5)。本装置は、転動子の原理を用いて、揺動周期が変化することを利用して計測を行う(特願2006-236511他)。模型船は扇形の転動子で支持されたターンテーブルに搭載し、転動子を揺動させることで模型船の縦及び横方向の慣動半径を計測することが出来る。縦慣動半径計測時のターンテーブルを90度回転させれば横方向慣動半径の計測状態へと容易に変更できる。搭載可能な模型船最大質量は850kgであり、模型船以外にも海洋構造物模型への適用も可能である。従来のブランコ方式(吊り下げ式)に比べ、模型船を搭載すると積み替えが不要なので、模型船の重錘位置調整の省力化が期待できる。また、船首揺慣動半径は、船首揺に対し、バネによる復原力を与える方式である。



図-7.5 転動式慣動半径計測装置

8. 水槽制御システム

8.1 概要

実海域再現水槽には曳引台車、造波機、送風機が設置してあり、個別に制御システムが備わっている。実験の種類に依存するが、複数の装置を同時に使用することが一般的である。これらの制御システムを統合して、水槽全体を一元制御することを目的とした上位システムである水槽制御システム(図-8.1)を備えている。

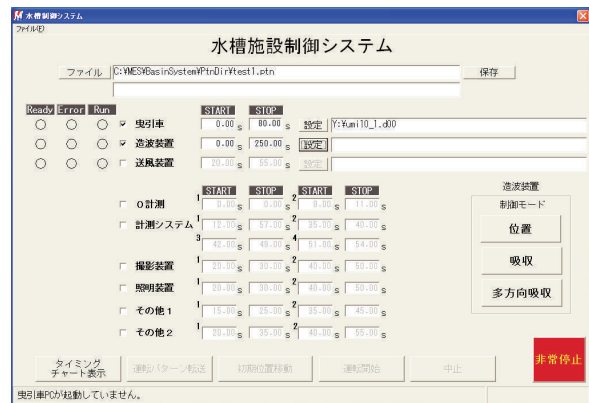


図-8.1 水槽制御システム

8.2 制御項目

本システムで制御可能な項目は、曳引台車、造波装置、送風装置、0点計測、計測システム、撮影装置、照明装置、その他1とその他2の9項目である。

基本的な設定項目は、制御を行う装置・機器の選択と個々の開始・停止時間である。開始・停止時間については、1実験中に複数回の計測を考慮して2個(計測システムに関しては4個)の設定が可能である。

また、曳引台車、造波装置と送風装置については、上記の設定項目以外に個々の装置の制御ファイルを設定することも可能である。

8.3 個々の装置の状態表示

曳引台車、造波装置、送風装置については、個々の装置の状態を画面上で確認することが可能である。各機器が本システムで制御可能な状態となっていれば、画面左上の「Ready」の列がそれぞれ緑色に点灯する。選択した装置の箇所が点灯していない場合には、各装置側で本システムが制御可能な状態に設定する必要がある。

何か異常が発生している場合には、「Error」の列が、また、各装置が起動中には「Run」の列が点灯する。

8.4 曳引台車の設定

「曳引車」の欄の「設定」ボタンをクリックすると図-8.2の画面が表示する。曳引車の設定項目は、運転モードの選択とその中の「プログラムモード」については事前に作成した走行ファイル指定である。「プログラムモード」以外の運転モードについては、本システムで設定する前に曳引車の制御システム上で設定しておく必要がある。

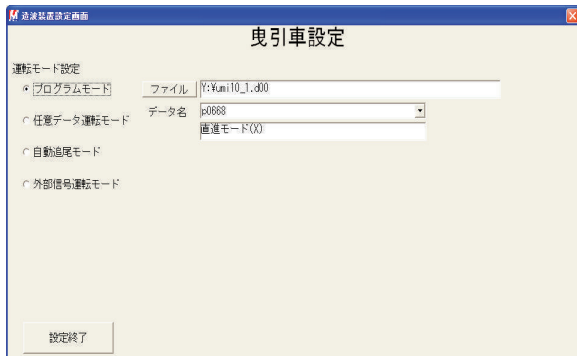


図-8.2 曳引台車の設定画面

上記画面上で設定が終了した後に、最初の画面に戻り運転開始時間を設定する。その際、停止時間については、参照された走行ファイルの情報から自動的に表示される。

8.5 造波装置の設定

上記と同様に「造波装置」の欄の「設定」ボタンをクリックすると図-8.3の画面が表示する。造波装置の設定項目は造波機の状態選択とその中の「造波ファイル選択」については、事前に作成した造波ファイル指定、造波終了後の制御モードの選択と切替遅延時間を設定する。

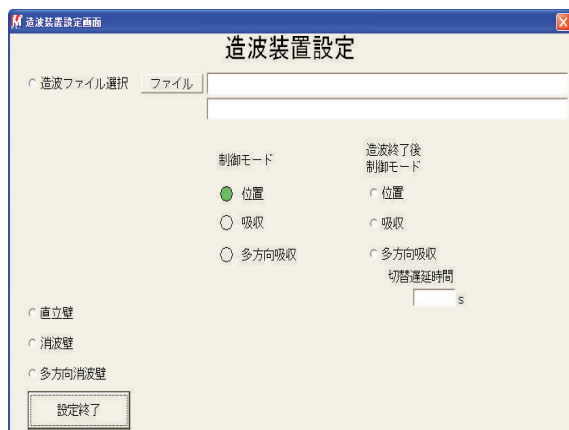


図-8.3 造波装置の設定画面

上記画面上で設定が終了した後に、最初の画面に戻り、造波開始時間を設定する。その際、造波

ファイルに停止時間が含まれていれば、停止時間は自動的に表示するが、そうでなければ停止時間を設定する。

また、曳引車と同時に使用する場合には、曳引車の運転開始時間を基準とするため注意が必要である。曳引車は安全性を確保するために、曳引台車の制御システムで台車を運転する場合には、運転を開始する前に3秒間ブザーを鳴るように設定している。そのため、曳引車の制御システム上で「運転開始」のボタンをクリックしても直後ではなく、その3秒後に曳引車が運転を開始する。

しかし、本システム上の曳引車の「開始時間」は、運転を開始する時間としている。そのため、ブザーの鳴る3秒間を別途調整する必要がある。例えば、造波装置については設定した「開始時間」から3秒差し引いた時間に造波が開始する。詳細は、タイミングチャートで確認することが出来る。

8.6 送風装置の設定

上記と同様に「送風装置」の欄の「設定」ボタンをクリックすると図-8.4の画面が表示する。送風装置の設定項目は、事前に作成した送風ファイル指定と全体のゲイン設定である。

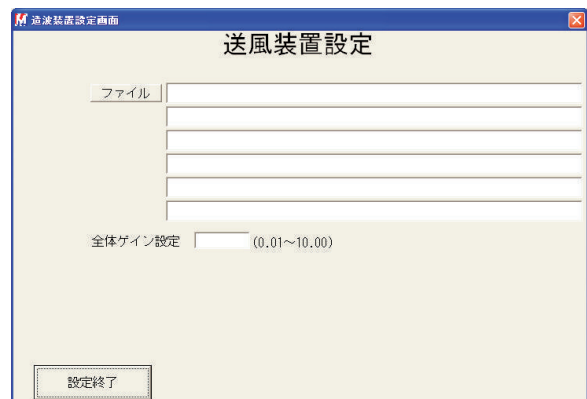


図-8.4 送風装置の設定画面

上記画面上で設定が終了した後に、最初の画面に戻り、送風開始時間と停止時間を設定する。

また、送風装置についても曳引車と同時に使用する際には、造波装置と同様に開始時間には注意が必要である。

8.7 タイミングチャート

上記の設定をした後に、全体の設定が問題ないか確認することが出来る。画面左下の「タイミングチャート表示」のボタンをクリックすると図-8.5の画面が表示される。

本システムで設定した情報及び曳引車について

は、計測をする際に重要となるクランプの開閉のタイミングも記載することとしている。クランプの開閉については、曳引車の走行ファイル、または曳引車の制御システム上で設定した数値が参照される。

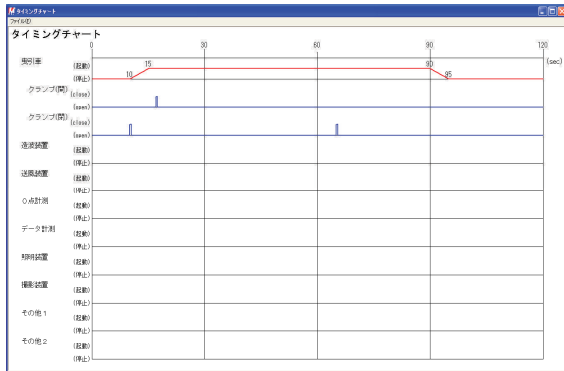


図-8.5 タイミングチャートの画面

本画面で個々の装置・機器の動作のタイミングを確認し、必要があれば修正することとなる。

8.8 実験の開始

上記の設定をした後は、「運転パターン転送」のボタンをクリックして曳引車、造波装置、送風機にファイルの転送を行う。

「運転パターン」の転送が終了すると「初期位置移動」のボタンが有効となるので、このボタンをクリックすることで副台車の初期位置への移動が開始する。

「初期位置移動」が終了すると「運転開始」のボタンが有効となるので、このボタンをクリックすることでシステム全体の運転が開始する。

8.9 まとめ

本システムは、当水槽の開所式で実施したデモ走行で実際に使用した。設定した時間と場所に発生させた集中波に模型船を遭遇させるというデモ走行で、僅かなタイミングのズレで船体運動の挙動が大きく変化してしまうものであった。しかし、本システムを活用することで十分な再現性が確保され、システムの機能が有効であることを立証した。

9. 今後の展望

以上に解説してきたように、実海域再現水槽は全周多分割型吸収造波機による高い造波機能、曳引台車による曳航機能ならびに自動追尾機能、送

風機による定常風ならびに変動風の送風機能、水槽施設制御システムによる施設全体の自動運転機能を完備した世界でも類を見ない最先端の試験水槽である。本水槽を用いることで、今まで実験技術、計測精度、再現性等の観点から実施が困難であった種々の実験計測が可能となった。今後は、船舶の実海域性能の評価や省エネ船の開発をはじめとし、より詳細な海難事故再現と事故原因分析、安全基準の提案に不可欠な実験データの提供等に活用すると共に、新たなニーズに応えることができる試験法の開発を進めて行く必要がある。

例えば、海難事故分析に不可欠な不規則波浪場の発生技術は規則波の線形重ね合わせでは不十分で、過渡的な大波高波の発生には非線形造波技術の研究開発が必要である。また、波浪中での自航試験法は過去には機関特性と関連付けて論じられたこともあるが、今は殆どが機関特性を考慮せず、プロペラ回転数一定で行われている。しかし、実海域での性能を精度よく評価するには主機までを考慮した新しい水槽試験方法が必要である。

実海域再現水槽をツールとして活用し、未来の船舶海洋工学を支える次世代水槽実験技術の研究開発に挑んでゆく必要がある。

そこで、本節では今後の展望として、実海域再現水槽により実施可能となる実験・計測例と、それらにより期待される研究成果を以下に列挙する。

9.1 新たに可能となる実験および計測

- ① 実海域海象下での船舶の推進性能の評価
 - ・ 規則波、不規則波、短波頂不規則波中での任意の出会角に対する抵抗増加量の精密計測
 - ・ 海の10モード指標の水槽試験
 - ・ 斜波や横波を受けて航走する船体周りの変動流場計測
 - ・ カタマラン、トリマラン等の高速多胴船の波浪中推進性能評価試験
- ② 実海域海象下での船舶の耐航性能評価
 - ・ 実海域における海象(短波頂不規則波+海上風)を模擬した環境下を航走する船舶の運動ならびに波浪荷重の計測
 - ・ Freak波、三角波等の異常波浪に対する船体運動、波浪衝撃荷重ならびに船体構造応答の計測
 - ・ 曳引台車の自動追尾機能を用いた、高速多胴船等の排水量の小さな船舶や資源探査船等の特殊な船型を有する船舶の耐航性能評価試験
 - ・ 実海域環境における船体折損等の重大海難事故の再現実験

- ③ 実海域海象下での船舶の復原性能の評価
 - ・ 実海域を航走する船舶の転覆条件ならびに転覆限界の精密計測
 - ・ 実海域において船舶が損傷後、浸水・転覆に至るまでの残存時間の計測・評価
 - ・ 漁船の転覆現象に及ぼす操舵影響の評価実験
 - ・ 実際に起きた転覆事故の再現試験
- ④ 実海域海象下での船舶の操縦性能評価
 - ・ 実海域において船舶の操縦性能に及ぼす波浪ならびに海上風の影響の計測
 - ・ 漁船やプレジャーボート等の小型船に操縦性能に及ぼす波浪ならびに海上風の影響の計測
 - ・ 操縦運動中の波漂流力の計測
 - ・ 波浪中操縦運動時の船尾流場の計測
- ⑤ 水槽の計測値に対する精度の定量的評価ならびに保証

9.2 活用分野と期待される成果

- ① 実海域性能の正確な評価ならびに新形式船舶の開発
 - ・ 実海域における推進性能の正確な評価と、実海域での船型最適化
 - ・ 実海域として具体的な海域を指定し、そこでの物流に最適化した新形式高速船の研究開発
 - ・ 電気推進船の研究開発ならびに自然エネルギーを推進力に利用した船舶の研究開発
 - ・ 外乱影響下における自動離着棧システムの研究開発
- ② 海難事故の再現による事故原因の解明
 - ・ 実海域環境下での海難事故再現実験による事故原因の調査・解明
 - ・ Voyage Data Recorder(VDR)に記録されたデータの事故原因の解明への活用的高度化
 - ・ モーションプラットフォームを備えた操船リスクシミュレータとの連携による、海難事故時のブリッジ内の再現と事故原因解明
- ③ 海難事故防止ならびに事故時の被害低減
 - ・ 荒天中でのスラミング、甲板冠水、スロッシング等の波浪衝撃荷重による船体損傷防止技術の開発
 - ・ バラ積船等の荒天中での折損や破損による沈没事故防止技術の開発
 - ・ Freak 波や三角波等の異常波の発生機構の解明ならびに異常波による船体折損等の重大事故防止技術の開発
 - ・ コンテナ船や自動車運搬船の大振幅横揺やパラメータ横揺、ならびにそれに起因する大

- 規模な荷崩の防止技術の開発
 - ・ 荒天下における操縦性能と操船限界の解明
 - ・ 航行不能船舶の漂流運動時の姿勢の安定性解析と漂流予測システムの開発
 - ・ 漁船・小型船の復原性悪化警報システム、膨張式転覆・沈没防止機器等の開発
 - ・ 漁船のブローチング等による転覆・海難防止技術ならびに生存率向上技術の開発
 - ・ プレジャーボートの転覆や波浪中での跳躍に起因する事故防止技術の開発
- ④ 国際安全基準の策定に資する技術資料の提供
 - ・ 損傷時・非損傷時復原性能基準や乾舷基準等の IMO における国際基準策定のための技術基盤の確立
 - ・ 救難艇等の船舶の安全設備に関する基準など IMO における国際基準策定のための技術基盤の確立
 - ・ IMO 操縦性基準に定められた操縦性試験における風波等の外乱影響修正法の開発
 - ・ 近年の安全基準の機能要件化の流れに対応した精度保証付き水槽試験データの提供
- ⑤ 数値シミュレーション技術の研究開発
 - ・ 数値シミュレーション結果検証用の高精度水槽試験データの取得
 - ・ CFD による波浪中抵抗増加や波浪中操縦性能の推定精度の検証
 - ・ 実海域再現水槽に対応する精密数値造波水槽や、近年耐航性分野への応用が拡大している粒子法・CIP 法等のロバスト数値計算法の開発による、実海域における波浪と船舶の数値シミュレーション技術の高度化

10. おわりに

当所では実海域における性能評価指標「海の 10 モード」の開発を目的とした研究プロジェクトを推進して来た。実海域再現水槽では全周造波機を活用して任意の方向に伝播する波を発生させることが可能であり、任意の出会い角での抵抗増加計測試験を容易に実施することができる。また、任意の主方向を持つ短波頂不規則波中での抵抗増加量の計測も実施可能であることから、これまでの規則波中での実験結果から推定せざるを得なかった実海域波浪場中での抵抗増加量を直接計測することができるようになった。これにより、海の 10 モード指標にさらに磨きをかけることができる。

海難事故の原因究明を目的とする研究では、荒天中でのスラミングや海水打ち込み等の波浪衝撃荷重による船体損傷、バラ積船の荒天中での折損

や破損による沈没、Freak波による船体折損等の重大事故をはじめ、コンテナ船のパラメータ横揺等に起因する大規模な荷崩、死者数の多い漁船の転覆、プレジャーボートの転覆や波浪中での跳躍に起因する事故等、実海域での様々な海難事故原因の解明に活用可能で、事故防止対策の立案に威力を発揮することが期待できる。

国際安全基準の策定等を目的とする試験研究では、損傷時・非損傷時復原性能基準や乾舷基準等のIMOで審議される技術課題に柔軟に対応できるようになる。さらに、水槽内波浪場の精度や船体運動等の計測精度の保証が可能となることから、近年の安全基準の機能要件化の流れに対応した高精度な水槽試験データの提供を行うことができる。

また最近、粒子法やCIP法等の数値計算手法の耐航性分野への応用が急速に発展を遂げており、数値シミュレーション結果の検証用水槽試験データの取得等への活用も期待される。

一方で船舶の高速化がすすみ、国内外の経済を支える交通インフラとしての海上輸送の需要が高まっている。海上輸送手段が信頼されるべき交通インフラとして確立されるためには定時性の確保が要件となる。このためには、斜波や追波状態で航走する船舶の波浪中抵抗増加量に対する高精度予測技術の開発が要求される。実海域水槽による水槽試験ではこのような問題に対する精密計測が可能になるため、実海域の推進性能を正しく評価し、これにより実海域での最適船型の開発に有用な試験データが得られるものと期待される。

当所には独立行政法人として海難事故への対応を始めとし、行政ニーズ、社会ニーズに対する迅速な対応が求められている。従来、波浪中での水槽試験業務は、計画、実施、解析、報告書作成までに数ヶ月の月日を要するのが普通であり、効率化が求められていた。波浪中での水槽試験を効率化するには、施設全体の計算機による一元制御を導入し、水槽実験の自動化・省力化・知能化による実験期間の短縮化を図る必要がある。実海域再現水槽は水槽施設全体を一元制御する仕組みが備った効率的な水槽であり、21世紀の船舶技術を担う未来志向の水槽に仕上がっている。本水槽により今後の船舶技術開発と船舶安全行政に資する多くの研究成果が得られるものと期待されている。

謝 辞

本水槽は、予算要求の段階から建造・竣工に至るまで間、実に多くの方々のご尽力に支えられて実現いたしました。

平成18年度の本水槽の予算要求に当たりましては、国土交通省海事局の星野茂夫局長(現日本自動車ターミナル株式会社代表取締役専務)、坂下広朗企画課長(現安全・環境政策課長)を始めとする海事局の皆様にご多大なるご支援を賜りました。以下、予算獲得にご尽力頂きました海事局の皆様を平成18年度予算決定時の役職で紹介させていただきます。

局長	星野 茂夫 様
次長	富士原 康一 様
審議官	小野 芳清 様
技術審議官	伊藤 茂 様
【総務課】	
総務課長	室谷 正裕 様
企画官	久保田 雅晴 様
【企画課】	
企画課長	坂下 広朗 様
技術企画官	石原 典雄 様

予算化を受けて、当所では中西堯二理事長、井上四郎理事(現理事長)の指揮の下、所をあげて建造体制が整えられ、詳細仕様の検討、積算作業、契約書の作成、受注業者の技術審査、入札準備等を開始しました。これらの発注に係わる業務では、染矢隆一総務部長(現海事局技術総括審議官)ならびに山崎壽久企画部主幹(現小型船舶検査機構業務部長)を始めとする総務部、企画部の皆様にも大変ご尽力いただきました。入札、契約、支払に関する事務手続きでは会計課の皆様にご多大のお世話になりました。建設は5カ年に及ぶ長丁場でしたが、企画部主幹の皆様には建造開始後も総括監督員として、受注者との交渉や打ち合わせにご尽力頂きました。施設安全課の皆様には建築確認申請、水槽本体と建家の土木建築工事、電源設備工事等の監督業務にご尽力頂きました。建造工事に係る技術的な課題の解決には、松岡一祥構造材料部門長(現理事)にご多大のお世話になりました。

本水槽の工事は、三井造船鉄鋼工事、三井造船システム技研、辻建設、日建設計シビル特定建設工事共同企業体が請負われました。旧80m角水槽の解体撤去から本水槽の完成・竣工に至るまでの間、江川清徳所長をはじめとする共同企業体の皆様には、困難な工事に全力で取り組んで頂きました。

著者らは予算要求から竣工まで本水槽の建造に係わって来た者達ですが、著者ら以外にも本水槽の建造にご協力頂いた研究者が多数おられます。

全員のお名前を紹介することはできませんが、本水槽の建造に尽力頂きました全ての方々にご心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 志波久光：三鷹船舶試験水槽(略号 MI.S.E.B)の構造機能等について、運輸技術研究所報告 第11巻第12号(1958)、pp.93-115
- 2) 大松重雄：海洋構造物試験水槽「新 XY 台車」の紹介、日本造船学会誌「Techno Marine」第815号(1997)、pp. 58-62
- 3) M.Ueno, Y.Yoshimura, Y.Tsukada, H.Miyazaki : Circular motion tests and uncertainty analysis for ship maneuverability、Journal of Marine Science and Technology Vol. 14 (2009)、pp. 469-484
- 4) 上野道雄、二村正、塚田吉昭、大坪和久：台車自動追尾による自由航走模型船の波浪中6自由度船体運動計測手法の研究、海上技術安全研究所報告 第8巻第1号(2008)、pp. 23-49
- 5) 二村正、上野道雄、藤原敏文、野中晃二：海洋構造物試験水槽の新しい走行台車を用いた操縦性能試験、船舶技術研究所発表会講演集 第70回(1997)、pp. 136-141
- 6) 前田克弥、田村謙吉：特集「試験水槽の新たな利用」第1章 新たな試験水槽 1.1 深海水槽、日本船舶海洋工学会誌「KANRIN」第4号(2006)、pp. 2-9
- 7) 前田克弥他：円形水槽の造波について、西部造船会会報第107号(2006)、pp. 55-62
- 8) 高石敬史他：海洋波の方向波スペクトルについて、日本造船学会誌第740号(1991)、pp. 94-113
- 9) 大松重雄：時間領域における Transient Wave の造波・吸収法について、海上技術安全研究所報告第9巻第2号(2009)、pp. 1-12
- 10) 財団法人日本海事協会：実海域性能指標(海の10モード)鑑定サービス業務について、http://www.classnk.or.jp/hp/tech_info/tech_img/T819j.pdf
- 11) 上野道雄他：短波長中を操縦運動する船に働く定常波力について、日本造船学会論文集第188号(2000)、pp.163-172