

三鷹第2船舶試験水槽の建設について

推進性能部

On the Mitaka No. 2 Ship Model Experiment Tank of the Ship Research Institute

By

Ship Propulsion Division

This paper gives a general description of a new ship model experiment tank, "Mitaka No. 2 Ship Model Experiment Tank", built at the Ship Research Institute. The principal dimensions of the tank are 400 m × 18 m × 8 m with the breadth and depth largest in the world. Because of this huge size of the tank it took four years to complete all the facilities.

In this report are given design considerations and general descriptions of the construction of the tank, which include the tank itself, the rails, the carriage, the trolley wires, the wave absorbers, the wavemaker, the measuring instruments, the data processor, the building to house facilities, and the workshop and the office.

The main features of the experiment tank are as follows;

1. large cross section of the tank
2. deep and shallow trimming tanks with watertight doors
3. four kinds of brake systems for the carriage
4. air-conditioned room on a side part of the carriage
5. accurate speed control of the carriage
6. rigid trolley wires
7. movable wave absorbers at the sides of the tank wall
8. measuring instruments of digital type with remote control system
9. on-line data processing system.

目 次

船舶技術研究所航空写真		
1. 緒 言	5	4-2 曳引車走行用レール..... 12
2. 計画の概要	6	4-2-1 JNR 50 T レール..... 12
3. 水槽および建屋	7	4-2-2 レールの機械加工..... 12
3-1 水 槽.....	7	4-2-3 レールの接続方法..... 12
3-2 水槽棟.....	10	4-2-4 チェア..... 13
3-3 工場研究棟.....	11	4-2-5 レールの敷設..... 15
4. 曳引車走行用レールおよびチェア等	11	4-3 強制制動用ブレーキレール..... 15
4-1 まえがき.....	11	4-3-1 ブレーキレール..... 15
		4-3-2 ブレーキレールの接続..... 15

4-3-3	チェア	15	5-8-3-2	設計条件	28
4-3-4	レールの敷設	16	5-8-3-3	特性	29
4-4	水準溝	17	5-8-3-4	配置等	29
4-5	ストッパー	17	5-8-4	スプリング制動装置	30
5.	曳引車	17	5-8-4-1	概要	30
5-1	計画概要	17	5-8-4-2	方式	30
5-2	基本計画	17	5-8-5	制動装置の配置	30
5-2-1	基本寸法等	17	5-8-6	自動制動区域	30
5-2-2	形状	17	5-8-6-1	北端自動制動区域	30
5-2-3	主構造方式	17	5-8-6-2	南端自動制動区域	31
5-2-4	主構造材料	18	5-9	計測器取付け用レール	32
5-2-5	最高速度および速度範囲	18	5-9-1	計測器取付け用レール	32
5-2-6	駆動方式と駆動部自由度	18	5-9-2	計測部補助桁	32
5-3	主要寸法等	19	5-9-3	操縦性能試験用計測レール	34
5-4	鋼構造部と強度計算	19	5-10	床張り	34
5-4-1	主桁	19	5-11	曳引車上で使用する一般用電源	34
5-4-2	部材結合	19	5-11-1	220V 動力線	36
5-4-3	強度計算	20	5-11-2	100V 一般用	36
5-5	一般配置	23	5-11-3	A.C. 100V 定電圧電源	36
5-6	駆動部	24	5-12	計測用配線	37
5-6-1	概要	24	5-13	照明装置等	37
5-6-2	動力の伝達	24	5-13-1	一般照明	37
5-6-3	構成部分の説明	24	5-13-2	局部照明	37
5-6-3-1	車輪	24	5-13-3	標識灯	37
5-6-3-2	減退歯車	24	5-13-4	信号灯	37
5-6-3-3	十字型ボギー支持軸	25	5-13-5	一般撮影用照明	37
5-6-3-4	軸受け	25	5-13-6	同期撮影用照明	37
5-6-3-5	ガイドローラ	25	5-14	空調室	37
5-6-4	駆動部における各軸の組立て精度	25	5-15	ぎ装品その他	38
5-6-5	駆動部枠の強度計算	25	5-15-1	ホイスト	38
5-7	加速度・減速度	26	5-15-2	波高計取付け台	38
5-7-1	加速度	26	5-15-3	補助撮影台	38
5-7-2	減速度	26	5-15-4	風防ガラス囲壁	38
5-8	制動装置	26	5-15-5	実験状態表示装置および同操作盤	38
5-8-1	通常制動装置	26	5-15-6	屋上フロア	38
5-8-2	強制制動装置	26	5-15-7	絶縁ネット	38
5-8-2-1	概要	26	5-15-8	曳引車への昇降梯子	38
5-8-2-2	設計条件	27	5-15-9	移動の出来る階段	38
5-8-2-3	制動シュー	27	5-15-10	電話	38
5-8-2-4	配置と数量	27	5-15-11	手摺り	38
5-8-2-5	取付けの構造	28	5-15-12	その他のぎ装品	38
5-8-2-6	操作と機能	28	5-16	塗装	39
5-8-3	非常制動装置	28	5-17	補助台車	39
5-8-3-1	方式	28	5-17-1	主構造・使用材料	39

5-17-2	曳引最高速度	39	チェック	53	
5-17-3	サドル部	39	6-4-4	デジタル速度制御の定速投入制御	53
5-17-4	主要寸法等	39	6-4-5	アナログ速度制御装置	54
5-17-5	強度計算	40	6-4-6	定トルク制御装置	54
5-17-6	連結桿	40	6-4-7	手動速度制御装置	54
5-17-7	クランプ	40	6-4-8	寸動走行装置	55
5-17-8	操縦性能試験用計測レール	40	6-5	運転操作盤	55
5-17-9	水面掃除器	40	6-5-1	切替スイッチ	55
5-17-10	電源, 照明, 床張り, 塗色	41	6-5-1-1	運転方式選択スイッチ	55
5-18	試験成績	41	6-5-1-2	速度範囲選択スイッチ	55
5-18-1	中間検査	41	6-5-1-3	速度制御方式選択スイッチ	55
5-18-1-1	材料試験 (引張, 硬度, 屈曲, 衝撃等) と化学組成分析	41	6-5-1-4	制御方向選択スイッチ	55
5-18-1-2	疲労試験 (繰返し回転曲げ)	41	6-5-1-5	操作場所選択スイッチ	55
5-18-1-3	摩耗試験	41	6-5-2	各種押ボタンおよびランプ	55
5-18-1-4	歯車検査	41	6-5-2-1	制御装置電源投入用押ボタン および制御電源ランプ	56
5-18-1-5	駆動部構成部品の全般的な寸法検査	41	6-5-2-2	非常停止用押ボタン	56
5-18-1-6	車輪焼入れ後の硬度試験	41	6-5-2-3	起動, 停止用押ボタン	56
5-18-1-7	駆動部の組立て精度検査	41	6-5-2-4	造波装置起動停止用押ボタン	56
5-18-1-8	駆動部の無負荷運転試験	41	6-5-2-5	消波装置昇降用押ボタン	56
5-18-1-9	球継手部の溶接検査	41	6-5-3	各種メータ類	56
5-18-2	完成時検査	41	6-5-3-1	DG界磁電流計	56
5-18-2-1	静的検査	41	6-5-3-2	DM界磁電圧計	56
5-18-2-2	動的検査	42	6-5-3-3	DM界磁電流計	56
6.	動力装置および曳引車速度制御装置	44	6-5-3-4	主回路電圧計および主回路電流計	56
6-1	受変電設備	44	6-5-3-5	デジタル速度偏差計	56
6-1-1	水槽棟北端主動力室受変電設備	44	6-5-3-6	速度計	57
6-1-2	造波装置機械室受変電設備	47	6-5-3-7	制動空気圧力計	57
6-1-3	曳引車補助電力	47	6-6	緊急停止装置およびインタロック	57
6-2	曳引車走行用動力	47	6-6-1	第1緊急停止装置	57
6-2-1	曳引車の車輪とレールの摩擦係数	47	6-6-2	第2緊急停止装置	57
6-2-2	曳引車の駆動動力	48	6-6-3	その他のインタロック	58
6-2-3	駆動モータの定格	48	6-7	付属ぎ装品	58
6-3	曳引車速度制御系の仕様	49	6-7-1	曳引車速度計	58
6-3-1	曳引車時定数の構成	49	6-7-2	自航試験用モータ	58
6-3-2	外乱に対する曳引車の応答	49	6-7-3	プロペラ単独試験機用モータ	58
6-3-3	発電機の時定数	50	6-7-4	自航モータ用電源	58
6-3-4	速度の安定度および速度の設定精度	50	6-8	運転走行記録	59
6-3-5	速度制御装置の仕様	51	7.	消波装置	59
6-4	速度制御装置の詳細	51	7-1	まえがき	59
6-4-1	共通部門	51	7-2	側面消波装置	61
6-4-2	デジタル速度制御演算装置	51	7-2-1	概要	61
6-4-3	デジタル速度制御演算装置の		7-2-2	油圧駆動装置および操作	61

7-2-3	動力伝達装置	61	9-1-7	流速計	73
7-2-4	消波板	62	9-1-8	翼車型伴流計	73
7-3	水槽北端および南端消波装置	62	9-1-9	摩擦修正量加重装置	73
8.	造波装置	64	9-1-10	計測同期装置	73
8-1	基本計画	64	9-1-11	陸上架台	73
8-1-1	造波方式	64	9-1-12	標準模型	73
8-1-2	駆動方式	64	9-2	波浪中試験用計測装置	73
8-1-3	所要馬力	65	9-2-1	概要	73
8-1-4	機構	65	9-2-2	自航動力計	74
8-2	各装置の概要	65	9-2-3	動揺計	74
8-2-1	基礎	65	9-2-4	規則波用ガイド	75
8-2-2	造波板	65	9-2-5	慣性能率測定装置	75
8-2-3	連結桿, 駆動レバーその他	66	9-2-6	波高計移動装置	75
8-2-4	油圧装置	66	9-2-7	波高計	75
8-2-4-1	主油ポンプ	66	9-2-8	記録装置	75
8-2-4-2	補助油ポンプ	66	9-2-9	その他の付属計測装置	75
8-2-4-3	油タンク	66	9-2-10	VTR (Video Tape Recorder)	75
8-2-4-4	10 μ フィルタ	66	10.	水槽用解析設備	76
8-2-4-5	アキュムレータ	67	10-1	概要	76
8-2-4-6	電気サーボ弁	67	10-1-1	デジタル計測処理	76
8-2-4-7	油圧シリンダ	67	10-1-2	アナログ計測処理	76
8-2-4-8	各種弁類	67	10-1-3	データ処理設備	76
8-2-4-9	圧力計	67	10-2	構成と仕様	77
8-2-4-10	温度計	68	10-2-1	解析機室内機器	77
8-2-4-11	油冷却器	68	10-2-1-1	計算機本体	77
8-2-4-12	冷却水ポンプ	68	10-2-1-2	外部磁気ドラム記憶装置	77
8-2-5	電気装置	68	10-2-1-3	入出力タイプライタ	77
8-2-5-1	主電動機, 主電動機盤および 補機盤	68	10-2-1-4	テープ読取り機	77
8-2-5-2	緩起動装置	68	10-2-1-5	高速テープ穿孔機	77
8-2-5-3	低周波発信器	68	10-2-1-6	磁気テープ装置	78
8-2-5-4	制御増幅器	69	10-2-1-7	制御テーブル	78
8-2-5-5	データレコーダ	69	10-2-1-8	オフラインタイプライタ	78
8-3	操作	69	10-2-2	曳引車空調室内機器	78
8-3-1	造波運転	69	10-2-2-1	入出力タイプライタ	78
8-3-2	組立・格納	69	10-2-2-2	出力タイプライタ	78
9.	計測装置	70	10-2-2-3	磁気テープ装置	78
9-1	静水中試験用計測装置	70	10-2-2-4	計測処理装置	79
9-1-1	概要	70	10-2-2-5	操作テーブル	79
9-1-2	抵抗動力計	70	10-2-2-6	X-Y プロッタ	80
9-1-3	自航試験用動力計	71	10-2-2-7	連絡装置	80
9-1-4	プロペラ単独試験用動力計	71	10-3	データ伝送およびデータ処理	80
9-1-5	校正装置	72	10-3-1	デジタルデータの伝送と処理	80
9-1-6	トリム計	72	10-3-2	アナログデータの処理	81
			10-4	解析設備の運用	82

11. 工場設備	83	11-6-20 模型船重量計測装置	89
11-1 概要	83	12. 結 言	89
11-2 作業業務の種類別	83	参考文献	89
11-3 仕事の流れ	83	付 録	91
11-4 工場等区分	83	A-1 水槽の補強工事等	91
11-5 主な設備の工場別分類	84	A-1-1 水槽の防水工事	91
11-6 機械等設備の概略説明	84	A-1-2 土の締め固め工事	91
11-6-1 模型船削成機	84	A-1-3 支柱工事	91
11-6-2 立体コージネータ	86	A-2 チェア間隔とボギー車中点の上下移	
11-6-3 模型プロペラ削成機	86	動量の関係	91
11-6-4 模型プロペラ仕上げ検査機	87	A-2-1 1個の集中荷重が加わった場合	
11-6-5 ろう溶解缶	87	の曲げモーメントの分布	91
11-6-6 大型定盤	87	A-2-2 ボギー中点における撓み	92
11-6-7 模型船鑄造槽	88	A-2-2-1 荷重が1スパン内にある場合	93
11-6-8 模型船冷却槽	88	A-2-2-2 荷重が1支点の両側にある	
11-6-9 模型船工場用天井走行クレーン	88	場合	93
11-6-10 模型船トップカッター	88	A-2-2-3 荷重が2支点の外側にある	
11-6-11 模型船吊り具	88	場合	94
11-6-12 木製模型船建造台	88	A-2-3 $\delta_{1/2}-\delta_1$ を零にする値	95
11-6-13 模型船仕上げ台	88	A-2-4 $m=1.4365$ の時の移動量	95
11-6-14 木工集塵装置	88	A-3 電気関係	95
11-6-15 プロペラ翼型成形機	88	A-3-1 トロリー線による電圧降下	95
11-6-16 プロペラ鑄型乾燥炉	88	A-3-2 曳引車の高速走行時の時定数	96
11-6-17 プロペラピッチ測定機	89	A-3-3 曳引車が最高速で走るときの走	
11-6-18 プロペラ静バランスング台	89	行時間と走行距離	96
11-6-19 実験準備場用天井走行クレーン	89	A-4 建設工事の記録	97

を表 1-3 に示す。

1. 結 言

船舶の大型化・高速化および高性能化は最近の世界的傾向であり、このために船型改良の必要性はますます増大し、造船量の増加とともに試験水槽の試験水面の絶対量が不足した。また、理論的研究の進歩、船型改良の進展とともに新しい分野の研究のために、精密正確な試験を実施し得る高性能試験水槽施設が必要となった。船舶技術研究所では以上の要求に応えるために、長さ 400m、幅 18m、深さ 8m の試験水槽を完成したので、これの建設の概要について報告する。

なお、この大規模の施設の計画にあたっては 400m 試験水槽建設委員会および同作業班を作って、慎重なる審議を重ねるとともに、部内の総力をあげてこの建設の仕事に取り組んだ。建設委員会および同作業班の委員名簿を表 1-1 および表 1-2 に、部内の主な担当者

表 1-1 400m 試験水槽建設委員会
委員名簿

委員長	大江卓二	船舶技術研究所
委員	船橋敬三	運輸省船舶局
"	乾 崇夫	東京大学工学部
"	研野作一	消防研究所
"	菅野三男	防衛庁技術研究本部
"	吉田守正	船舶技術研究所
"	幸田政実	" "
"	浅沼福松	" "
"	横尾幸一	" "
"	山内保文	" "
"	安藤文隆	" "
"	若桑 訥	" "
"	荒木 浩	" "

表-1-2 400m 試験水槽建設委員会
作業班名簿

1) 基本計画班長	横尾幸一		
班員	山内保文	高石敬史	
"	安藤文隆	菅井和夫	
"	若桑 訥	小川陽弘	
"	田崎 亮	郷田国夫	
"	矢崎 敦生	丹羽 新	
"	高橋 肇	大津留 喬久	
"	伊藤 達郎	森山 茂男	
"	田中 拓	岡田 恭藏	
"	荒井 能	鶴岡 健介	
"	門井 弘行	金山 一也	
"	花岡 達郎	梅津 紀元	
"	小関 信篤		
2) 庶務班長	浅沼福松		
" 班員	賀集 巖		
"	沢 正男		
"	山田 芳男		
"	伊藤 達郎		
"	梅津 紀元		

表 1-3 分担表

総括	横尾幸一		
水槽本体および建屋	伊藤達郎	田中 拓	
"	上田隆康		
曳引車	田崎 亮	上田隆康	
トローリ	田崎 亮	荒井 能	
側面消波装置	田中 拓	北川弘光	
レール	伊藤達郎	門井弘行	
動力装置	伊藤達郎	荒井 能	
造波装置	田崎 亮	北川弘光	
工場設備	矢崎 敦生	上田隆康	
"	小出達成		
静水中計測装置	高橋 肇	武井 幸雄	
波浪中計測装置	田崎 亮	北川弘光	
解析設備	田中 拓	荒井 能	

2. 計画の概要

水槽の主要寸法と曳引車の最高速度の決定には、現在の要求のみでなく、将来の研究の発展も考慮しておく必要がある。計測距離が長いほど、また、速度が速いほど研究可能範囲が広く、利用価値が高く、研究の

将来性が増すが、水槽を長くすることには、経費の点でおのずから上限がある。水槽の幅と深さは主として模型船の寸法に、水槽の長さは最高速度に支配される。模型船の寸法は小さいほど実験がやりよいわけであるが、尺度影響の少ない、精度の良い実験を行なうには、船型によって適当な寸法がある。今回の計画では、常用模型船長さとして、静水中試験用の貨物船、巨大船には7ないし9mを、波浪中試験用および潜水船試験用には5ないし6mを、最大模型船としては12mを採用することにした。この寸法を採用したのは巨大船に対する4.5m~6.7mの相似模型の試験、5.5mの模型に対する波浪中の試験、および3mの、没水体模型の試験等の結果によるもので、この寸法をもとにして水槽の主要寸法と曳引車、造波装置、計測機器、工場設備等の要目を定めた。

水槽の長さは試験の最高速度、計測距離、加減速距離によって定まる。高レイノルズ数における摩擦抵抗試験、6m 高速艇の自航試験、不規則波中の高速貨物船の自航試験等について検討し、最高速度を15m/sec、水槽の長さを400mと定めた。この決定にあたって、加速装置としては特殊なものを考えなかったが、制動装置としては強力なものを計画することとし、加速度を0.04ないし0.10g、減速度を0.06ないし0.60g、最高速度のときの定常航走時間を7秒として、水槽の全長を決定した。水槽の幅と深さに関しては、静水中と波浪中の模型試験や潜水船の試験等の場合の側壁影響、水深影響を考慮して、水面幅を18m、水深を8mと定めた。この際、水面幅の利用度が高いことを考慮して、幅深比は従来水槽のものに比べて大きくした。

上述の基本的な要目に基ずいて、水槽、建屋、レール、曳引車等の試験水槽としての基本設備の建設計画を始めた。本建設工事は大別して3段階に分れ、これを4ヶ年計画で行なった。その工程、工事費を表2-1に示す。水槽および建屋の建設工事は、その設計、監督を建設省関東地方建設局に委任し、その他の工事は船舶技術研究所が直接これに当った。

本水槽の場合、水槽をはじめとして、模型船、曳引車等がすべて大型で、計測設備等も大容量となる。したがって、計画の基本方針として、大型の特色を十分生かして実験精度の向上を計るとともに、大型であっても高効率を確保するため、施設、設備が使用容易かつ、安全、確実であることを目標とした。このために、曳引車の運転制御装置、計測設備、消波装置、造

表 2-1 建設工程および工事費

年 度	38	39	40	41	概算工事費	
水槽および建屋	計画 設計	工 事		工 事	千円 600,000	
	水槽棟	研究棟		製図計算室		
曳引車・レール・トロリ・側面消波装置	計 画	設 計	製 作 据 付		197,000	
			走行レール敷設			
造 波 装 置	計 画	設 計	製 作 据 付		27,000	
計 測 設 備		計 画 設 計	製 作		85,000	
解 析 設 備		計 画 設 計	製 作		69,000	
工 場 設 備			計 画	設 計 製 作	68,000	
備 考		4.8 28.5 曳引車等の起工	3.30 水槽に注水開始	5.5 8.20 水槽性能および建屋竣工	9.10 10.10 10.10 19.16 7.15 曳引車試験の開始(実験番号1)	合計 千円 1,046,000

波装置等の自動化, デジタル化をはかり, あるいは遠隔操作を適宜に行なうこととし, また, データ処理装置としてオンライン解析設備を導入することとした。

3. 水槽および建屋

3-1 水 槽

水槽は図 3-1 に示されるように, 船研敷地内にほぼ南北の方向にわたって建設され, その北端部東側に模型工場, 製図室, 研究室を含む工場研究棟が付属している。従来の水槽はおおむね東西方向にわたって設置されているが, 本水槽の場合は, 敷地の関係上南北方向をとらざるを得なかった。このため, 地球の自転によるコリオリの力*についても検討されたがこの影響を無視できることが確かめられた。また, 日光の当る側面が午前と午後で異なり, 繰り返しの温度影響を受けることが心配されたが, 水槽および上屋に十分なエクspansionsジョイントを設け, また, 上屋に窓を設けないことによりこの影響を避けた。

敷地の地質は再度のボーリングにより調査され, 地表から約 10m 下に地耐力の大きい砂礫層があり, それまでは地表から順に厚さが 1 ないし 2m の表土, 5

* 地上の一点 0 を原点とし, 鉛直上方に z 軸, 0 を含む子午面内の南方に x 軸, 東方に y 軸をとり, 0 の地理学的緯度すなわち鉛直線が赤道面となす角を β とすれば, コリオリの力 f は次式であらわされる:

$$f = m \ddot{y} = -2m\omega(x \sin \beta + z \cos \beta)$$

ここで m : 物体の質量

ω : 地球の自転の角速度

$$= 7.292 \times 10^{-5} \text{ 1/sec}$$

東京では $\beta \approx 35^\circ$, $\sin \beta = 0.574$ であって,

$$F = 8.54 \text{ WV}$$

ただし, F : コリオリの力 (gr)

W : 物体の重量 (ton)

V : 南北方向の速度 (m/s)

例えば, 1 ton の物体が 2 m/s で走行する場合, 17.1 gr のコリオリの力が進行方向に向かって右方に働く。

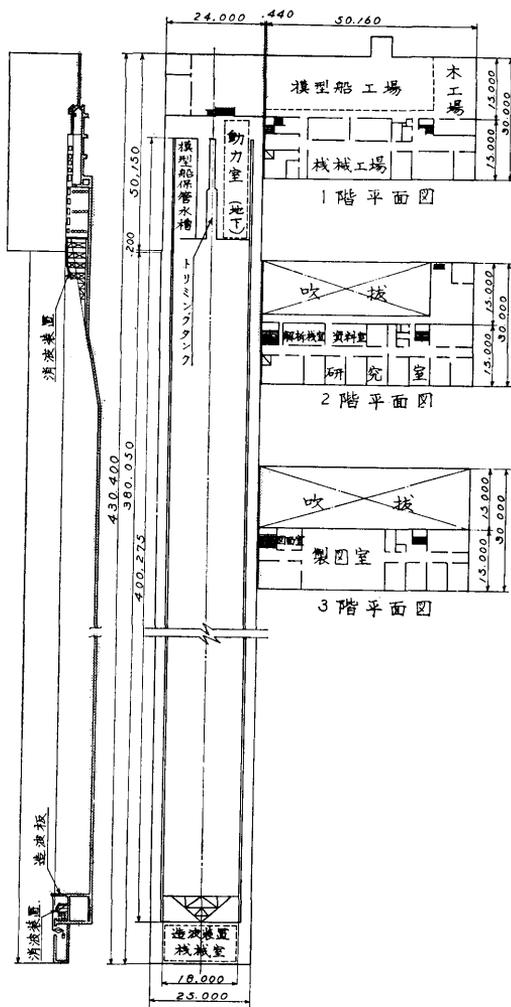


図 3-1 水槽および建屋一般配置図

ないし6mのローム層、1ないし2mの粘土層があることが判明した。また、中間には湧水層はなく、地下水位も地表から7m余りの深さにあり、水槽建設にあたって、水槽底をこの付近まで掘り下げても特殊な排水工事を要しないことが確かめられた。したがって、地表から約6.3mの深さまで土を掘削し、水槽の大部分を地中に埋め、水槽天端（頂部）を地表から2.8mの高さとすることにした。このようにして、約6万トンの水の重量と土圧とをバランスさせ、水槽をローム層のなかに浮かすような格好として、全体として最も経済的な設計を行なった。水槽断面を図3-2に示す。

(124)

掘削は主として機械掘りで、最後の1層約50cmの厚さは地盤を損わぬように手掘りとし、その後直ちに厚さ30cmの捨てコンクリートを施した。水槽の底盤は厚さ30cmの鉄筋入り水密コンクリート製で、長さ20cm、幅7mの2列のブロックに分かれている。水槽側壁の強度とレール精度を保持するため、両側壁の脚部にはそれぞれ4列の外径25cmの遠心コンクリート杭合計約3,400本を砂礫層まで打込み、側壁と水槽上屋との共通の基礎とした。この杭の上に捨てコンクリートを施し、幅5m、厚さ60cmの鉄筋コンクリート製の盤状の側壁脚部を打設した。厚さ45cmの側壁とこれを補強する厚さ50cmのバットレスは、側壁脚部の上にこれと一体となるように、逆T字型にコンクリート打ちされている。この側壁および脚部は長さ40mのブロックに分かれている。底盤、側壁および脚部の各ブロックの間には約20mmの間隙があり、打設時に埋込まれた塩化ビニール製の止水板が水密を保ち、この部分がエクспанションジョイントを形成している。

両側壁およびバットレスの上部に、水槽側通路として幅4mのプラットフォームを設けた。この通路の水面寄り、側壁の真上に幅69cm、深さ20cmの溝を全長に沿って設け、その底にあらかじめ山形鋼を2列埋設し、曳引車用のレールチェアーの敷設の準備をした。

水槽北端部付近の水槽底は、消波効果をよくするために端部に近づくにつれて浅くなるような傾斜面とした。北端には全長25mの大小2つのトリミングタンクを直列に、水槽の中心線上に設けた。大トリミングタンクは水面幅2.3m、水深5mの鉄筋コンクリート製で、水面付近に大型の観測窓のほかに、潜水船の実験準備のため直径20cmの観測窓を深い深度まで合計42個設けた。小型トリミングタンクは水面幅1.2m、水深1.0mの鋼板製で、水面付近の観測窓のほかに、タンクの底にも観測窓を設けた。これに伴ない、トリミングタンクの周りには上下2段に分かれた水密の観測室を設け、水中観測が便利なようにした。

トリミングタンクと平行して、その西側に長さ25m、幅5.9m、水深2.5mの模型船保管水槽を設けた。保管水槽の出口、大トリミングタンクの出口、大小トリミングタンクの境目には、それぞれ水密の鋼製扉を設け、いずれも乾ドックとして使用できるようにした。トリミングタンク周りとその東側は平坦な実験

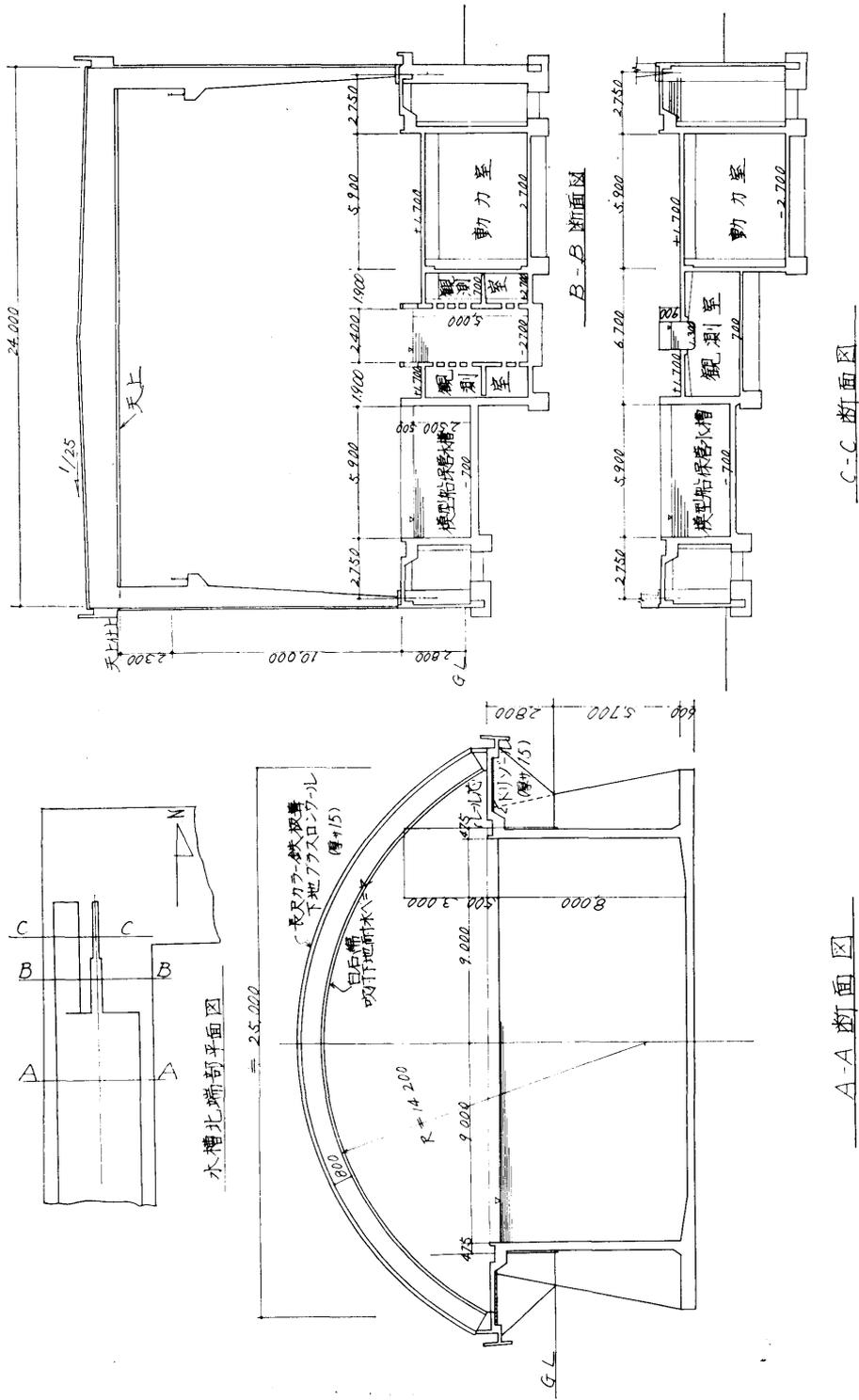


図 3-2 水槽断面図

準備場で広さは約 30m×10m あり、その地下に 30m×5.9m の主動力室を設け、主受変電設備および曳引車用の電源設備を設置した。トリミングタンク周りよりさらに北側にそれより 1.3m 低い 15m×24m の実験準備場を設け、その一隅を計器保管室とした。この実験準備場の床面高さをこれに隣接する模型工場の高さと同じにして、工場から台車により模型船を運搬できるようにした。実験準備場が高さの異なる2つの区域に分かれているが、この付近での模型船、計測機器の運搬には元来クレーンを使用するのであるから、特に不便ということはない。

水槽の南端部には、水深 3.1m のところに長さ 7m のプラットフォームを設け、造波板とその背後の消波装置の支持台とした。水槽南端の南側には 10m×25m のプラットフォームを設け、造波装置の水平連結桿と操作室を置き、その階下を水槽棟南半分を受けもつ副動力室兼造波装置機械室とした。

3-2 水槽棟

水槽の上屋は、北端部を除き、かまぼこ型の鉄骨構造で、水槽側壁上の通路の外側の端を支点とする、半径 14.2m のダイヤゴナル・クロス・トラス組である。80m 毎にエクспанションジョイントがある。トラ

スの外側に断熱板、防水板を敷き、その上にカラー鉄板を張って屋根とし、トラスの内側には白色有孔石綿板を張って天井とした。水槽上屋には窓を一切設けず、蛍光灯の人工照明のみによることとし、これも南端部以外は間接照明とした。窓を設けなかったのは、日光により水槽水に生物が発生したり、また、対流の起ることを防ぐとともに、窓からほこりの入ることを防ぐためである。なお天候変化による室温の急変を避けるとともに、水槽室の暖房効果を良くするためでもある。

水槽北端部および実験準備場には天井高さ 15.1m、長さ 50m、幅 24m の鉄骨構造の実験準備棟を設け、その天井には、模型船の運搬、計測機器の曳引車への搭載用の 5 トンの走行クレーンを設けた。この棟の北側の壁と西側の壁の水銀を避けたところには窓を設け、実験準備場を明るくしたが、照明は主として人工照明で、蛍光灯のほかに水銀灯投光器を設置した。

水槽棟の暖房通風には重油焚きのユニット型温風暖房機を 10 基用いた。このための暖房機械室としては、水槽の西側の隣り合ったバットレスの間を適宜利用した。新鮮空気は水槽東側の屋根の下のフィルター付の取入口から天井裏を通して暖房機に入り、室内に送ら

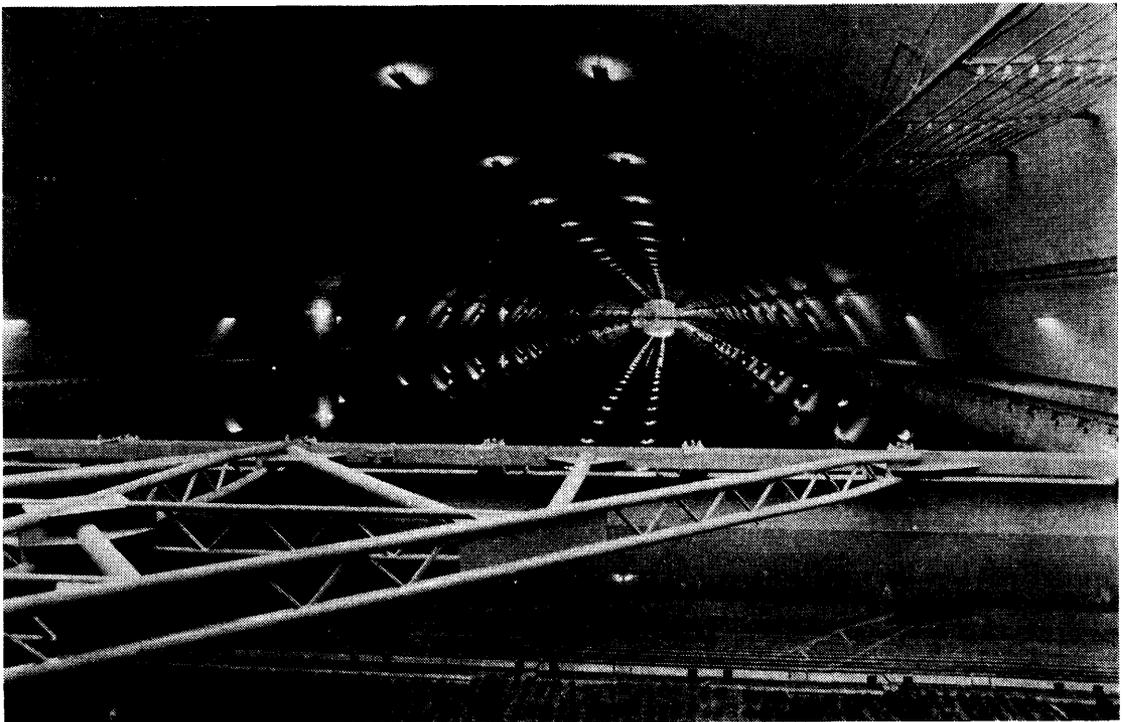


写真 3-1 水槽内部（南端より見る）

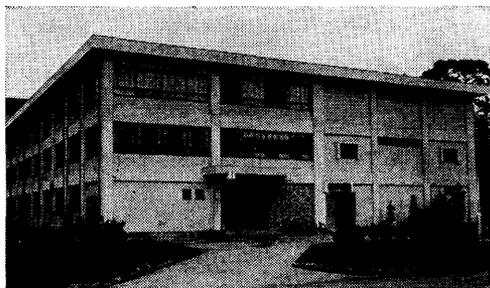


写真 3-2 研究棟

れ、換気は西側の機械室を通じて外部に送り出される。出口にもフィルターをつけ、外部よりほこりの入るのを防いだ。冬期以外は、暖房機のファンによって同じ径路による通風を行ない、天井裏のトラス部の結露を防止し得るとともに、夏期の温度上昇を防止し得る。これらは集中制御盤により遠隔自動操作される。

3-3 工場・研究棟

模型工場、製図室および研究室等のある工場研究棟は建坪 1,500 m² の鉄筋コンクリートの 3 階建である。模型船工場は 750 m² の面積を有し、3 階までの吹き抜けで、これにも 5 トンの走行クレーンを設けた。この工場はパラフィンワックス製の模型船を製作するので、日光を避けるため北側に設けたが、照明としては

蛍光灯と水銀灯の投光器を併用した。模型プロペラ等を製作する機械工場は 1 階南側に設けた。2 階には研究室、解析機室、写真室、資料室等を設け、3 階には研究室、製図室を設けた。この棟も水槽棟と同様に温風暖房機により暖房通風を行なう。写真 3-1 水槽棟の内部を、写真 3-2 研究棟を示す。

4. 曳引車走行用レールおよびチェア等

4-1 まえがき

本水槽において使用する曳引車走行用レールは、この上を走行する曳引車が大型、かつ大重量のものとなるのが予想され、またその敷設長さがかなり長い距離となるので、計画にあたっては次の諸点に考慮を払った。

- 1) 曳引車重量は約 55 トンとかなり重いものとなるのが予想されるため、曳引車走行用レールはその強度、撓み等を考慮し、内外各種のレールの諸元を調査して、可能なかぎり断面係数の大きなものを選ぶ。
- 2) レールの総敷設長さがかなり長く、レールの接続箇所も多いので、継目板の構造は、現場での工事が容易に、かつ精度よく行なえるようなものとし、同時に継目の部分の強度、撓みが継目以外の部分のそれと同等もしくはそれ以上となるような構造とする。

また、レール継目で、溶接部と非溶接部で硬度の変

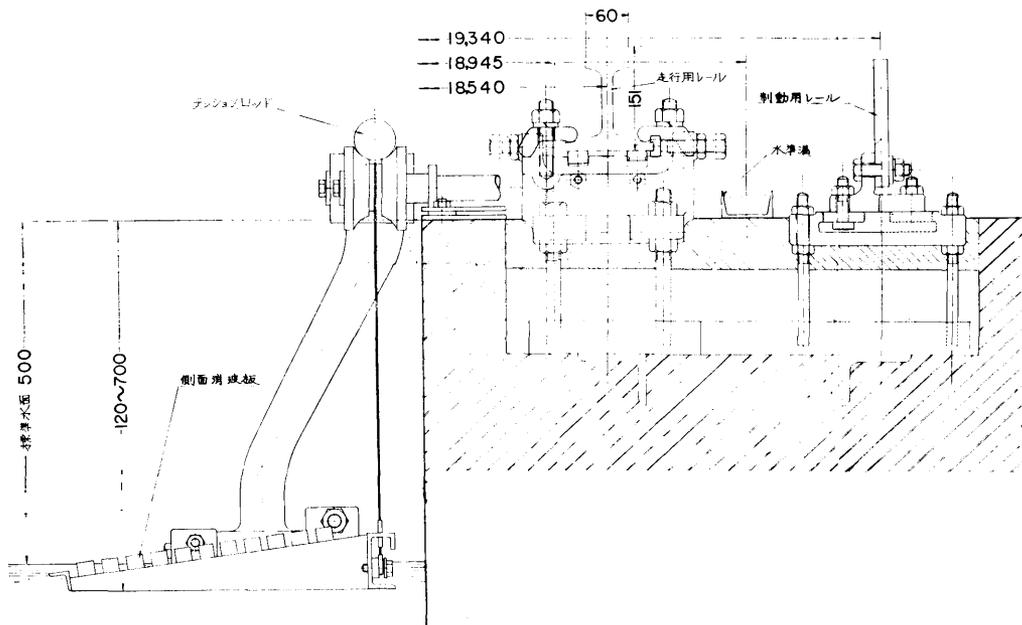


図 4-1 曳引車走行用レール等配置

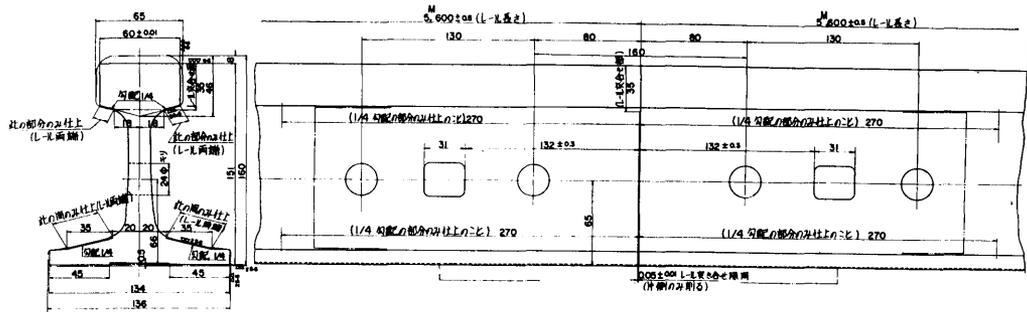


図 4-2 曳引車走行用レール断面

表 4-1 JNR 50 T レール主要目

	断 面 積 (cm ²)	重 (kg/m)	断面二次モーメント (cm ⁴)	断 面 係 数 (cm ³)	引張り強さ (kg/mm ²)
加 工 前	67.9	53.3	2,300	267	>80
加 工 後	61.3	48.1	1,985	223	

化ができることが予想されるので、レールの頭部上面および側面には溶接を行わず、継目板とレール脚部の側面および底面とを溶接して接続することとし、溶接のさいに生じる熱応力による歪を考慮して接続部の溶接手順等の予備試験を実施し、現場での手順を決定する。

3) チェアの個数がかかなり多くなるので、レール調整の能率化のため、チェアの構造は取扱い容易でしかも精度の維持が確かなものとする。曳引車駆動部をボギー車とするので、曳引車走行中のボギー中心の上下移動量が最小になるようにボギーの車輪間隔とチェアの設置間隔を選定する。また曳引車中心点での上下移動量が最小になるように東西のチェアの相対位置を決定する。

4-2 曳引車走行用レール

図 4-1 に曳引車走行用レール等の配置を示す。

4-2-1 JNR 50 T レール

曳引車走行用レールは、種々のレールを調査した結果、国産で市販されているレールの中で断面係数の最も大きい、東海道新幹線に用いられている JNR 50T レールを採用しこれを加工した。その主要目を表 4-1 に、断面形状を図 4-2 に示す。

4-2-2 レールの機械加工

1本の長さを 5.8m に切断したレールの頭部上面および両側面ならびに底部下面および両側面を切削加工後研磨し、その後、両端の加工精度の悪い部分を切り

落し、1本 5.6m (チェア間隔の整数倍) の長さとした。レールの機械加工は (写真 4-1)、レールが現場に敷設された場合と同じ状態、すなわち、工作機械のテーブル上に所定の間隔に支持具を設置し、その上にレールを敷設して高低、蛇行の調整を行ない、その後レールを固定し加工を行なった。

加工後のレールの真直度の検査は上記の状態を保って、オートコリメーターにより行なった。レールの加工精度は、頭部上面の真直度は $\pm 2/100$ mm, 表面粗さ 6S 以上 (6 μ 以下), 底部下面の真直度は $2/100$ mm, 同側面の真直度は $\pm 20/100$ mm である。

4-2-3 レールの接続方法

レールの接続は、レールの脚部両側面に継目板を当て、コッターおよびボルトにより締めつけ、その後

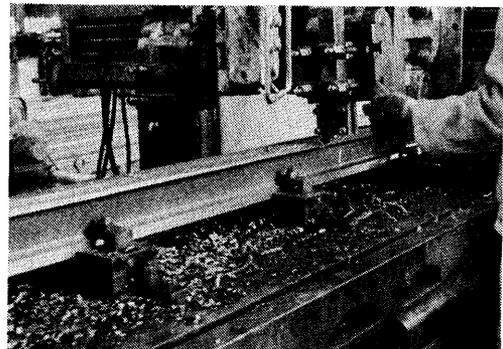


写真 4-1 走行用レールの機械加工

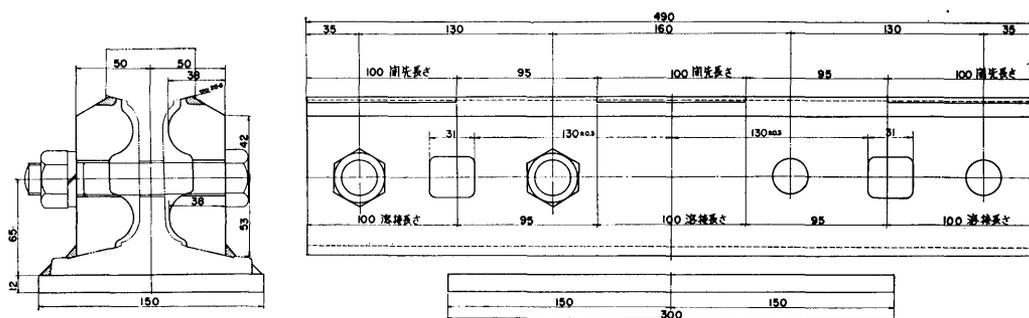


図 4-3 曳引車走行用レール継目板

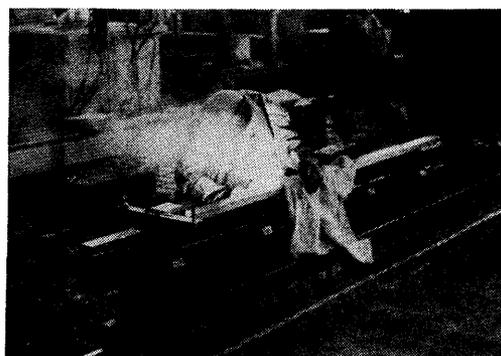


写真 4-2 走行用レールの溶接試験

レールと継目板を溶接して一体とし、レール底面にも継目板を溶接し補強した。なお、現場でレールを接続する場合には、継目板の当て方や締めつけ具合によっては、レールの突き合せ面で上下、左右の食い違いが生じ、現場での作業を困難なものとする恐れがあったため、これをとりのぞく目的でレールと継目板の両者とも、その接触面に機械加工を施した。すなわち、工場において一組のレールを、その突き合せ面で上下、左右の食い違いがない状態に固定し、レールの継目板が接触する部分に浅い溝を設け、継目板とレールとがこの溝によりぴったりと合うように加工して、接続部に食い違いの生じないことを確認し、この一組のレールと継目板に合いマークをうち、現場においてレールを接続する場合には、この組合せを再現することによりレール敷設作業の能率向上をはかった。レールの接続部の詳細を図 4-3 に示す。

レールと継目板の溶接を行なう場合に生じる熱応力による歪については、工場においてレールを現場と同じ状態に敷設して、数回にわたり溶接試験を行ない(写真 4-2)、溶接手順および溶接後に接続部に生じる歪量を調査した。この結果、一組のレールの接続部で

片側のレールの突き合せ面の下部(頭部をのぞき脚部および底部にわたり)に 5/100 mm のぬすみを取り、接続部にギャップを設け、継目板を当て、コッター、ボルトにより締めつけることにより接続部の頭部にわずかに上向きの変形を与えた。この状態で溶接することとし、溶接後に接続部上面に水平よりもさらに下向きの歪を生じないようにし、溶接完了後わずかに残った上面の歪をグラインダー仕上げして真直とした。

また、接続部の強度がその他の一般部分と比較してどの程度のものかを調べるために静荷重試験を実施した。着力点は接続部、一般部ともに支点の中央で、荷重は油圧ラムで最高 9,000 kg まで加え、その時のレールの撓みを計測した。撓みは、荷重 9,000 kg において接続部で 0.25 mm、一般部で 0.29 mm となり、接続部においても十分な強度を有することを確認した(写真 4-3)。

4-2-4 チェア

試験水槽本体の建設時に、水槽の両側の天端に幅 690 mm、深さ 200 mm の溝をレール敷設のために予め準備しておいたが、この溝の底部に予めめこまれている 2 列の山型鋼に 4 本のアンカーボルトを溶接

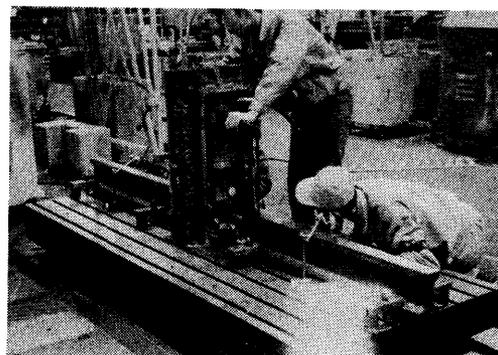


写真 4-3 走行用レール曲げ試験

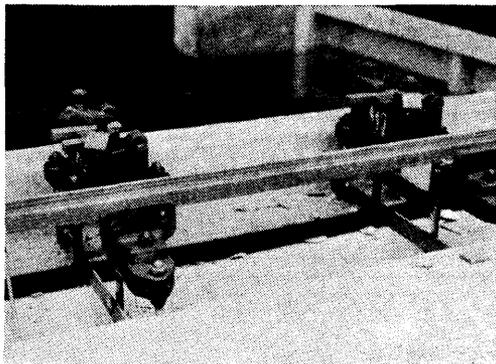


写真 4-4 レールチェア等の敷設

し、これでチェアを支持する(写真 4-4)。敷設初期のチェア自身の高低、傾きおよび蛇行の調整はこのアンカーボルトにより行ない、その後に溝内にコンクリートを打ち、チェアの下部には無収縮モルタル(エンベコ)を充填してチェアを固定した。

チェアの構造を図 4-4 および写真 4-5 に示したが、レールの高低、傾きの調整は、1/12 の勾配をもった左

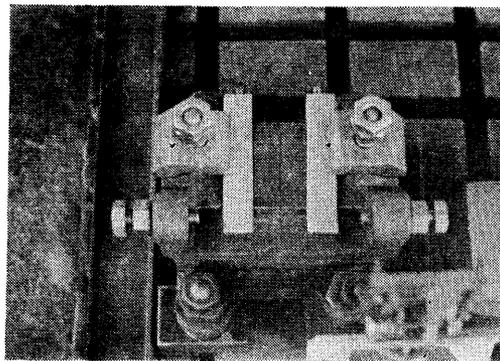


写真 4-5 走行用レールチェア

右 1 対のくさびで行ない、蛇行の調整は左右の押しボルトにより行なう方式とした。高低の調整しは基準高さより上下にそれぞれ 2.5 mm、蛇行の調整しは基準中心より左右にそれぞれ約 10 mm である。

チェアの設置間隔は、曳引車ボギー中点の上下移動量を最小にして曳引車の振動を防ぐために、ボギー車輪間隔とも関連して 800 mm とした(付録参照)。ま

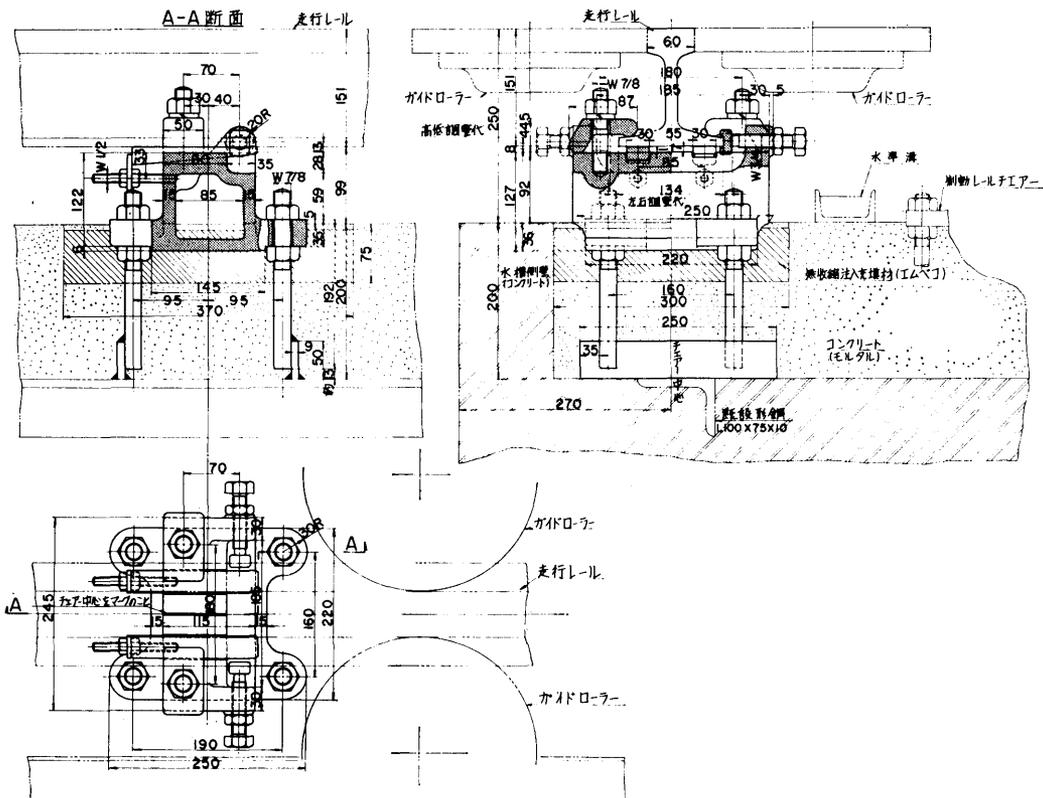


図 4-4 曳引車走行用レールチェア

表 4-2 走行用レールの敷設精度

	高	低	蛇	行	傾	き	東西レール間 の高低差	東西レールの 間隔
東側	±15/100 mm		±1/10 mm		±1/1,000 rad.	±2/10 mm	±1 mm	
西側	±25/100 mm*		±1 mm					

*南端より 50 m の範囲の精度

た、前後、左右 4 台のボギー車の上下移動により生じる曳引車の振動を考慮して、西側のチェアの位置は、東側のそれより 200 mm (チェア間隔・1/4) ずらしてある。

チェアの構造は、レール調整時の取扱いの難易、精度の維持等の面より種々検討し、試作品による調整予備試験等も行ない、上記のような単純な構造を採用し、取り扱い易いものとした。

4-2-5 レールの敷設

レールの敷設精度を表 4-2 に示す。レールの敷設精度の計測は、レール上面の高低に関しては、レール上面と水準溝の基準水面間の高低差を触針型デプスマイクロメーターにより計測し、側面の蛇行に関しては、水槽長さ 400 m にわたって線径 0.5 mm のピアノ線を張り、(約 10 ケ所で、水を満した容器にうかべたフロートによりピアノ線を支持した) レール側面とピアノ線間の距離をインサイドマイクロメーターにより計測し、レールの傾きに関してはレール上面に長手方向に直角に精密水準器 (0.1 mm/1 m) を置いて計測した。

ただし、西側レールの蛇行は、東側レールを基準として、レールスパンゲージにより東西レール間隔を計測して確かめた。なお、本水槽は 400 m の長さがあるため、計測の場所的な時間のずれが問題となるため、高低に関しては、東側最北端のチェアを基準点として 1 日数回、基準値の確認を行なった。また、400 m の長い距離にわたってピアノ線を張りわたした場合にピアノ線自身の直線性が完全に保たれるかどうかという点も問題になり、ピアノ線の直線性の時間的な変化の有無、ピアノ線のかわりにナイロン線を用いた場合の利点等を調べたが、ナイロン線は張力が弱く復元力が不十分であるので不適当であり、結局は、計測中に水槽室内に風の入るのを完全に断ち、ピアノ線に十分な張力をかけ 400 m の中央でピアノ線を左右に動かし、整定したところで、400 m の途中 3 ケ所でピアノ線を固縛するのが良いとの結論に達した。

4-3 強制制動用ブレーキレール

4-3-1 ブレーキレール

曳引車の強制制動を行なうのに曳引車走行用レールの側面を利用するのは、曳引車走行用レールの精度維持、制動効果よりみて得策ではないので、水槽東西の天端上の曳引車走行用レールの外側に、曳引車強制制動用のブレーキレールを敷設した。ブレーキレールは高さ 185 mm、厚さ 19 mm、1 本の長さ 4.8 m の平鋼で、制動効果がよくなるように、その表面に機械加工をほどこさず、黒皮取りのみとした。

4-3-2 ブレーキレールの接続

ブレーキレールは、その接続部を X 型開先継手として両面溶接により接続し、溶接完了後に盛り肉の部分をグラインダーにより仕上げて平らにした。ブレーキレールの溶接においても、接続部の溶接歪による曲りが心配されたため、工場において溶接試験を行なった。すなわち、写真 4-6 にみられるような治具を製作し、これによりレールを固定して溶接したが、自然冷却後に曲りを調べた結果、溶接による曲りはほとんどみられなかった。

4-3-3 チェア

ブレーキレール用のチェアは、曳引車走行用レールチェアと同様、前記水槽天端上の溝内に既設の山形鋼に溶接された 2 本のアンカーボルトで支持され、敷設

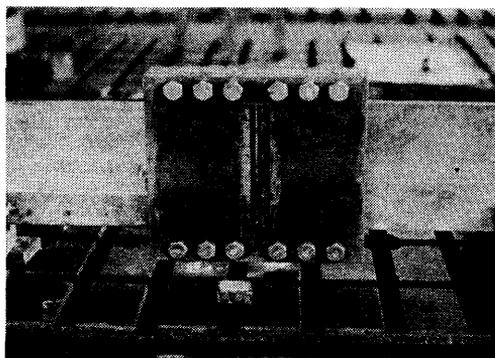


写真 4-6 ブレーキレール接続部

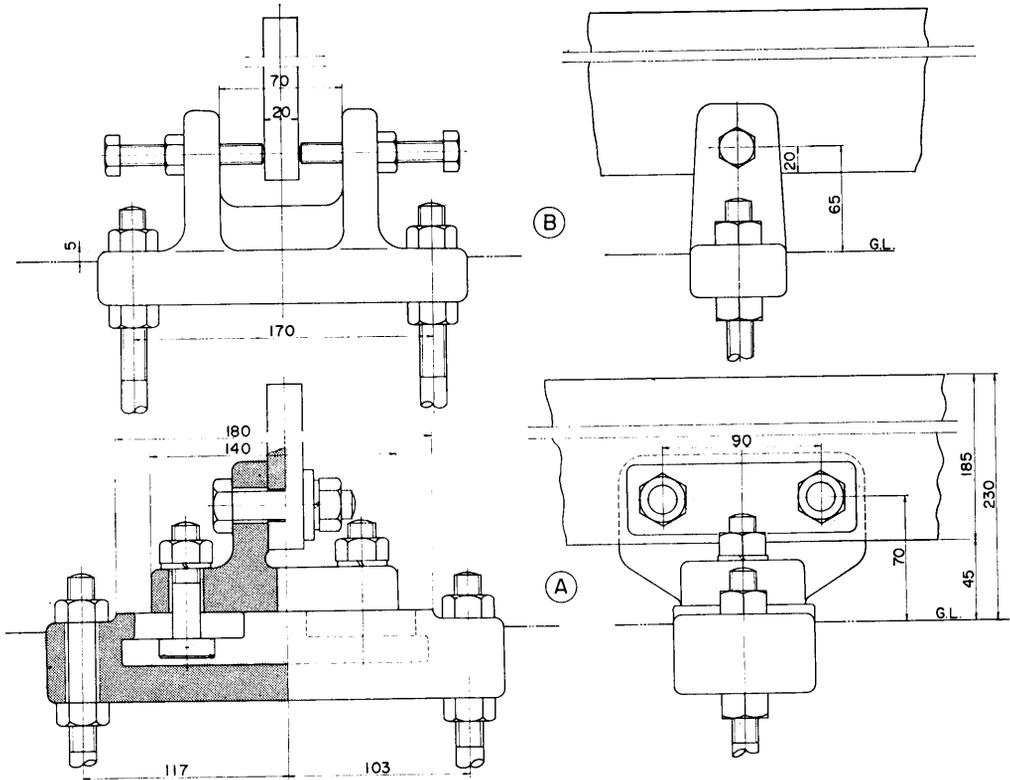


図 4-5 ブレーキレールチェアー

表 4-3 ブレーキレールの敷設精度

高	低	蛇	行	傾	き	東西レール間 高 低 差	東西レール 間 隔
±1 mm		±2/10 mm		±2/1,000 rad.		± 1 mm	±5/10 mm

初期のチェア自身の高低、傾き、蛇行等の調整は、このアンカーボルトにより行なわれた。

チェアの構造は図 4-5 に示されるように、A、B 2 種類あり、A 型はレールを支持し、レールの蛇行および傾きの調整が可能で、B 型は押しボルトによりレールの側面を押さえ、蛇行の調整のみが可能な構造となっている。なお、A 型による高低の調整はライナーにより行なう。

4-3-4 レールの敷設

ブレーキレールの敷設を行なう場合に、チェアを先

に固定してしまうと、レールにあけてある取付穴とチェアのボルトの位置がずれる恐れがあるために、チェアにレールを取り付けた状態で敷設した。ブレーキレールの敷設精度を表 4-3 に示す。この敷設精度の計測は、レールの高低に関してはレール上面と水準溝の基準水面との間の距離を触針型デプスマイクロメーターにより計測し、側面の蛇行に関しては曳引車走行用レールの頭部側面を基準とし、これとブレーキレール側面の間の距離をインサイドマイクロメーターにより計測し、また、傾きに関してはレール側面に精密水準器

表 4-4 水準溝の敷設精度

高	低	蛇	行	傾	き	東西溝の間 高 低 差	東西溝の間隔
±2 mm		±2 mm		±1/20 rad.		±5 mm	±5 mm

(0.1 mm/1 M) をあてがって傾きを計測した。

4-4 水準溝

曳引車走行用レールとプレーキレールの間にレール高低計測用基準水面をつくる水準溝を敷設した。水準溝は幅 75 mm, 高さ 40 mm, 長さ 4.8 m のみぞ型鋼を溶接により縦方向に接続して作り, 東西両水準溝は南北両端において塩化ビニールパイプの連通管を接続し, 東西両水面が同一高さになるようにしてある。水準溝の敷設精度を表 4-4 に示す。なお, 水準溝は, 将来の水槽の地盤沈下を考慮して, 水槽天端上に埋めこまず, 支持棒により天端上約 10 mm の位置に敷設してある。

4-5 ストッパー

東西曳引車走行用レールの南北両端に曳引車暴走停止用のストッパーを設置した。ストッパーは, バネ油圧式のもので, 曳引車が初速 0.5 m/s で衝突した場合, 0.25 m の距離で停止する容量を有する。

5. 曳 引 車

5-1 計画概要

曳引車の設計にあたっては, 現在船型試験水槽において行なわれている種類, 内容, 規模の実験はすべて実施できることが必要であり, また将来考えられる実験についても十分予想をたて, 曳引車の計画に折込む必要がある。したがって, 船型に関する実験的研究の基礎, 応用, 開発, 評価等にわたる実験, およびこれらの付随的, 派生的な実験等がすべて行なえるように考慮し, いわゆる船型研究実験に関する多目的実験装置としての曳引車を造る計画を立てた。最近, 実験も多様化し, 計測技術も急速に進歩しているのので, これらに即応させるように計画時に多大の努力が払われた。特に多目的に対する適応性, 使用の容易さ, 実験計測作業の簡素化, 能率向上, 安全合理化などを計るために, 構造, 一般配置, 艤装等に対して多くの検討が加えられた。

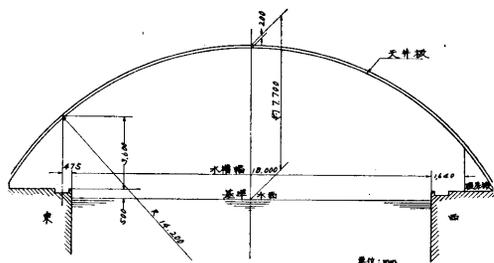


図 5-1 水槽の断面形状

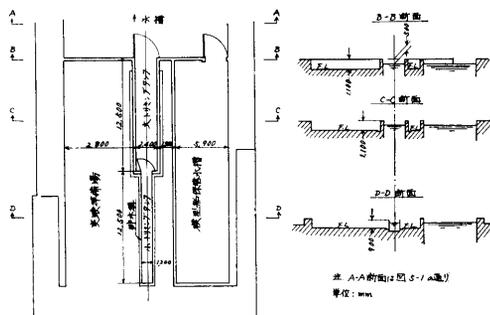


図 5-2 トリミングタンクとその周辺

5-2 基本計画

5-2-1 基本寸法等

水槽の断面形状, 水槽の主寸法 (水面幅, 水面の高さ, 水面の計測有効長さ等), トリミングタンクおよびその周りの寸法, 配置等は図 5-1, 図 5-2 に示すとおりである。本水槽で使用される供試模型船の最大寸法と曳引車に搭載する機器類を考え合わせれば, 曳引車の計測部の有効長さとは有効幅, 水面から計測機器据付けレベルまでの高さ, 床の有効面積と大略配置等がおおよそ決まる。

5-2-2 形状

強度, 重量などを一応考慮して 5-2-1 で考えた制約条件のもとで, Artist's impression 的に平面や正面の形状を種々描いたり, また, これに国内, 国外の曳引車を参考にして検討を加え, 形状の決定をみるまでには 3 ヶ月近くの日時を費やした。

5-2-3 主構造方式

主構造を決めるに当たって, 構成主桁の構造に関してはプレートガーダ, トラス構造等にした場合について検討したが, 主としてスパンの長さや重量の点からトラス構造からなる主構造を採用することにした。

立体のトラス構造は, 制動力等の水平力に対する強度, 局部振動を起しやすい点, 振動の伝播に対して減衰性のやや悪いこと, 固有振動数の初期推定が困難なこと, など色々な観点から問題となる面もなかったが, その反面, 利点としては重量が軽くでき, 安価であり, 設計や工作が比較的容易であり, 実験者の動作線が平面内に収めることができる。また, 国内外の大水槽の曳引車がほとんど金属パイプを使ったトラス構造を採用しており, また, 以前に目白の第一水槽の曳引車を同構造で製作して支障のない結果を得ているので, 今回もトラス構造を採用することにした。

表 5-1 鋼管とアルミ管の比較

	撓み量を等しく押えたときの構造重量比	単位重量当りの価格比	溶接継手効率(%)
一般構造用鋼管 STK-41	1	1	100
耐蝕アルミ管 A2T2-0	1.01	3	90

5-2-4 主構造材料

強度部材として、形鋼、円管、形管の3種について重量当りの断面係数、部材結合の方法、市販品の寸法種類、工作の難易、価格、美観等の面から比較検討した結果、主構造の大部分に円管を使用することにした。材質としては、アルミニウム管と鋼管が考えられるので、両者の強度、撓み、重量、価格についての推定計算を行った。その結果を表5-1に示す。アルミ管を用いる主目的は重量の軽減であるが、同表からわかるように、ほとんど同一重量になったので、価格、工作の面から鋼管を採用することになり、結局一般構造用の電綫鋼管(STK-41)を使用することにした。

ただし、駆動部、実験計測区域その他の一部には、必要に応じてSS-41の鋼板、形鋼を使用することにした。

5-2-5 最高速度および速度範囲

高速走行は、水中翼船、滑走艇等の高速実験を可能にすることは勿論であるが、摩擦抵抗に関する基礎実験にとって大いに必要であり、レイノルズ数を可能な限り上げることが望まれる。水槽の長さと加速・減速距離との関係および最高速度における計測時間から本水槽における最高速度が求まるが、以上の関係を検討した結果、最高速度を15m/secと決定した。

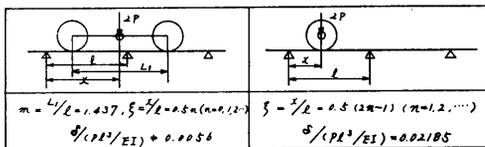


図 5-3 ボギーと単車輪の比較

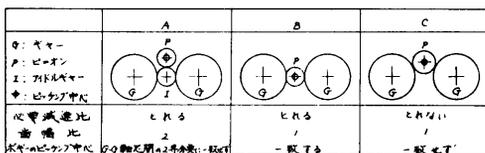


図 5-4 駆動方式の比較

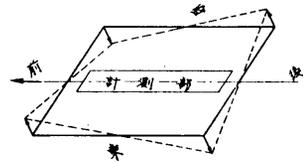


図 5-5 レール撓みによる曳引車の上下変動

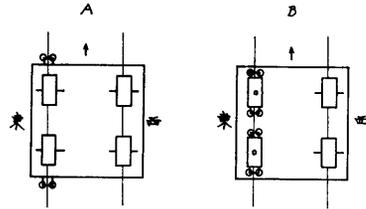


図 5-6 ガイドローラの取付け方式

5-2-6 駆動方式と駆動部自由度

レールの撓みからくる曳引車上下振動を極力小さくすること、車輪にかかる荷重を少なくすることなどから曳引車4隅の駆動部はそれぞれ2車輪ボギー方式とした。レール、チェアーの材料および構造と駆動部にかかる荷重を同一にしたとき、ボギー車軸間隔とレールチェアー間隔の比を最適に選んだときのボギー支持軸の上下移動量と単車輪方式としたときの車輪上下移動量を図5-3に示す。また、レール幅、車輪直径も種々の制約からあまり大きくとれないので、車輪数を2倍にして車輪に加わるヘルツ応力を減少させる必要もあった。曳引車4隅の駆動部にそれぞれモータを1台ずつ配して全輪駆動を行なうことにした。減速方式としては図5-4に示すA、B、Cの3案につき必要減速比、ピニオンの歯圧と歯幅の関係、ボギーの縦揺れ(ピッチング)回転中心の位置などの点から検討した結果、B案に決定した。駆動部の自由度については、ボギー方式を採用するねらいから4隅の駆動部全部にピッチングの自由度を与えた。さらに、レールの撓みからくる曳引車の上下変位を図5-5のような状態で受けるようにすれば、曳引車中央の計測部はレール撓みによる上下変動の影響を殆んど受けないようにでき、また、曳引車の走行に伴う外乱の強さを小さくし、また振動数をあげることができる。前後方向にはレールチェアーに対して駆動部の前後間隔を図の状態になるように選び、また東西方向には、東西のレールに対してチェアーの位置をずらして図の状態になるようにした。駆動部の横揺れ(ヨーイング)自由度については、最も苦慮した点であるが大要図5-6の方式を検討した。

表 5-2 曳引車の要目等

幅 (部材心間)	19,340 mm
長さ (")	16,900 mm
高さ (")	3,800 mm
トリミングタンク天端より 主桁下弦材下面までの高さ	350 mm
計測区域 長さ×幅 (部材心間)	11,310×2,640 mm
鋼構造重量	約 35 ton
常備重量	約 50 ton
最高速度	15 m/sec

レールの蛇行からくる曳引車の横振れを出来るだけボギーで吸収させるためにB方式を採った。

5-3 主要寸法等

種々検討の結果、曳引車の主要寸法等を表5-2のように決定した。表中の計測区域とは、曳引車中央部の模型船等を取付ける区域のことで、この区域には部材等の障害物は一切設けられていない。常用模型船の長さを10mまでとし、それより大きな模型船の場合は曳引車の後部に取付けた補助レールを使用するようにした。高さは、前・後横桁(後述)のアーチ型上弦材と水平下弦材との間隔である。本曳引車の前・後横桁は2等辺三角形の断面をもつアーチ型立体桁であるが、計算の結果、所要撓み内の強度をもたせるためにはこの高さを4,100mmないし4,200mmにすると重量が最小となった。しかし、工場における製作組立後さらに分解して現地に輸送する場合の制限から、これを3,800mmとした。常備重量は、内外の大水槽の曳引車を参考にして計算したものであり、鋼構造重量として約35tonにおさめることを目標とした。

5-4 鋼構造部と強度計算

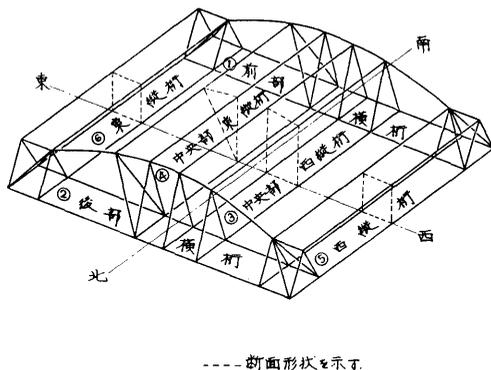


図 5-7 曳引車の構成主桁

5-4-1 主桁

本曳引車の主要構造は図5-7に示すように6つの立体トラス桁で構成する。各桁を構成する部材は桁の面で力学的に完全に閉じたものとした。

- ① 前部横桁
- ② 後部横桁

①と②は、水槽幅をまたぐ橋桁をなすものであり、前後に間隔をもって配置された。断面は2等辺三角形、正面はアーチ型をなしいわゆるポータラスである。

- ③ 中央部西縦桁
- ④ 中央部東縦桁

③と④は①と②を中央部で結合するほか、この2つの縦桁で計測部を構成するものである。③と④の断面形状はそれぞれ矩形と倒立した略直角三角形である。中央部の縦桁を③④の2本の桁で構成した理由は、計測機器の取付け用レールを別々に支持して曳引車中央部の模型船取付け位置には上下、前後方向ともに全く障害物のない空間を大きくとるためであった。③の内部は、計測床として利用し、④はトリミングタンク横の床上から実験準備作業が容易に出来るように逆三角形とした。これは、目白第一水槽曳引車に用いた方式であり、以来他の試験水槽でも採用している。

- ⑤ 西縦桁
- ⑥ 東縦桁

⑤と⑥は①と②の両端相互を結合させるとともに、加速、減速時などの水平力に耐える構造とし、両桁の外側下弦材は形管であり、これに制動装置が取付けられている。また、これらの桁内部の床面には動力用、一般電源用の諸装置を据付けたり、後述する空調室に利用した。断面形状はいずれも同一寸法の矩形とした。

5-4-2 部材結合

部材の結合部は、場所によっては1ヶ所に7~8本

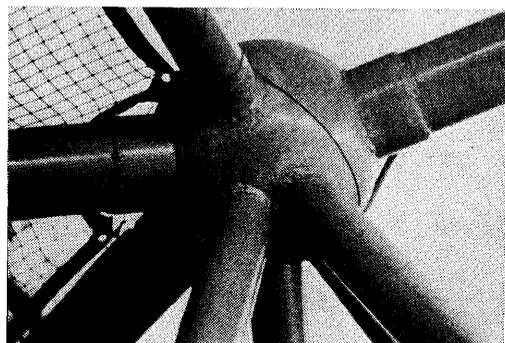


写真 5-1 球継手

のパイプが集合する個所もあり、この結合を出来るだけコンパクトにまとめ、しかも、結合部の局部モーメントの発生を防ぐため、球体を介して部材を一点に集中するようにした。結合部はすべて電気溶接で接合された。引張力の作用する主要部材の結合部は非破壊検査を行なって万全を期した。部材結合部の1例を写真5-1に示す。

5-4-3 強度計算

強度計算は大要つぎの方針で行なわれた⁶⁾。

(1) 曳引車仕様

曳引車全備重量	約 58,000 kg
走行速度	0~15 m/sec
最大減速度	0.7 g

(2) 荷重種別

(2-1) 鉛直荷重 桁自重, 搭載機器の分布荷重
計測部計測機器の集中荷重
計測部上方を走行するホイストの移動荷重

(2-2) 水平荷重 加速時あるいは、制動時の水平力
曳引車の横振れを考慮したときの水平力
風圧抵抗力
模型船等の抵抗力
レール, トロリー等の摩擦力
曳引車の特殊使用による付加水平力

(3) 荷重組合せ

曳引車に作用する各外力(鉛直荷重, 水平荷重)をそれぞれ算出し, 長期荷重と短期荷重に分け, 外力の組合せを行って部材の応力を算出した。

(4) 荷重係数

荷重係数をつぎのように仮定した。

静荷重係数 $\varphi=1.2$

動荷重係数 $\varphi=1.4$

(6) 使用材料

一般構造用鋼管 第2種 STK-41

” 鋼板 第2種 SS-41

(6) 許容応力 長期荷重に対しては $\pm 14 \text{ kg/mm}^2$
短期荷重は長期荷重の 30% 増し

(7) 水平荷重としてはトラス底面に生じる動荷重に対してのみ計算した。

(8) 搭載機器は各車輪荷重ができるだけ等しくなるようにその分布を想定した。

(9) 中央計測部のホイストによる荷重は 1.3 ton の移

動荷重とした。

(10) 加減速時の水平力としては最大制動力で代表させた。

短期荷重 0.7g : 前進時のみ

(0.7g = 非常制動力 0.4g + 強制制動力 0.25g + スプリング制動力 0.05g)

長期荷重 0.35g : 前後進時

(0.35g = 強制制動力 0.25g + 通常制動力 0.1g)

(11) 計測機器の搭載による集中荷重は曳引車中央部に 3 ton と予想し, この集中荷重による荷重点の撓みが 3mm 以内になることを目標にした。

(12) 風圧抵抗は, 風力係数を 0.5~1.6 とし風速 15 m/sec 時の計算を行ったが単位面積当りの風圧荷重は他の荷重に比べて非常に小さくなったため強度計算では省略した。

(13) 模型船等の供試物体の抵抗力としては大型没水体の場合を考えて推定計算を行なった。

(14) 曳引車の横振れによって生じる水平力は, ガイドローラを反力点として作用するものである。通常に用いられる制動によって受ける車輪圧の 10% として計算に入れた。

(15) 特殊使用による附加水平力としては, 主として補助台車を曳引する場合, 補助台車重量約 6,000 kg と仮定し, 補助台車を曳引しながら曳引車側で最大減速度 0.4g をかけたときの状態で計算した。ただしこの荷重は前部横桁の下弦材だけに作用するものとした。

(16) 弦材, 腹材等で大きな圧縮力の作用する部材については坐屈応力を計算した。

(17) レール, トロリーの摩擦力は推定計算の結果, 他の荷重に比らべて非常に小さかったので省略した。

(18) 重量軽減を計るために, 応力に応じて各部材の断面寸法を選んだ。

以上の手順で計算した結果, その 2, 3 を挙げるとつぎのようになった。

○重心位置 : 曳引車中心より西側へ 0.19m

後側へ 0.04m

○4隅のボギーにかかる荷重の最大差 : 771 kg

○応力 : 前・後部横桁の中央部下弦材が最大値を示したが, 短期と局部曲げの両応力の和で 13 kg/mm^2 となった。

○撓み量 : 中央部に集中する 3 ton の荷重に対し,

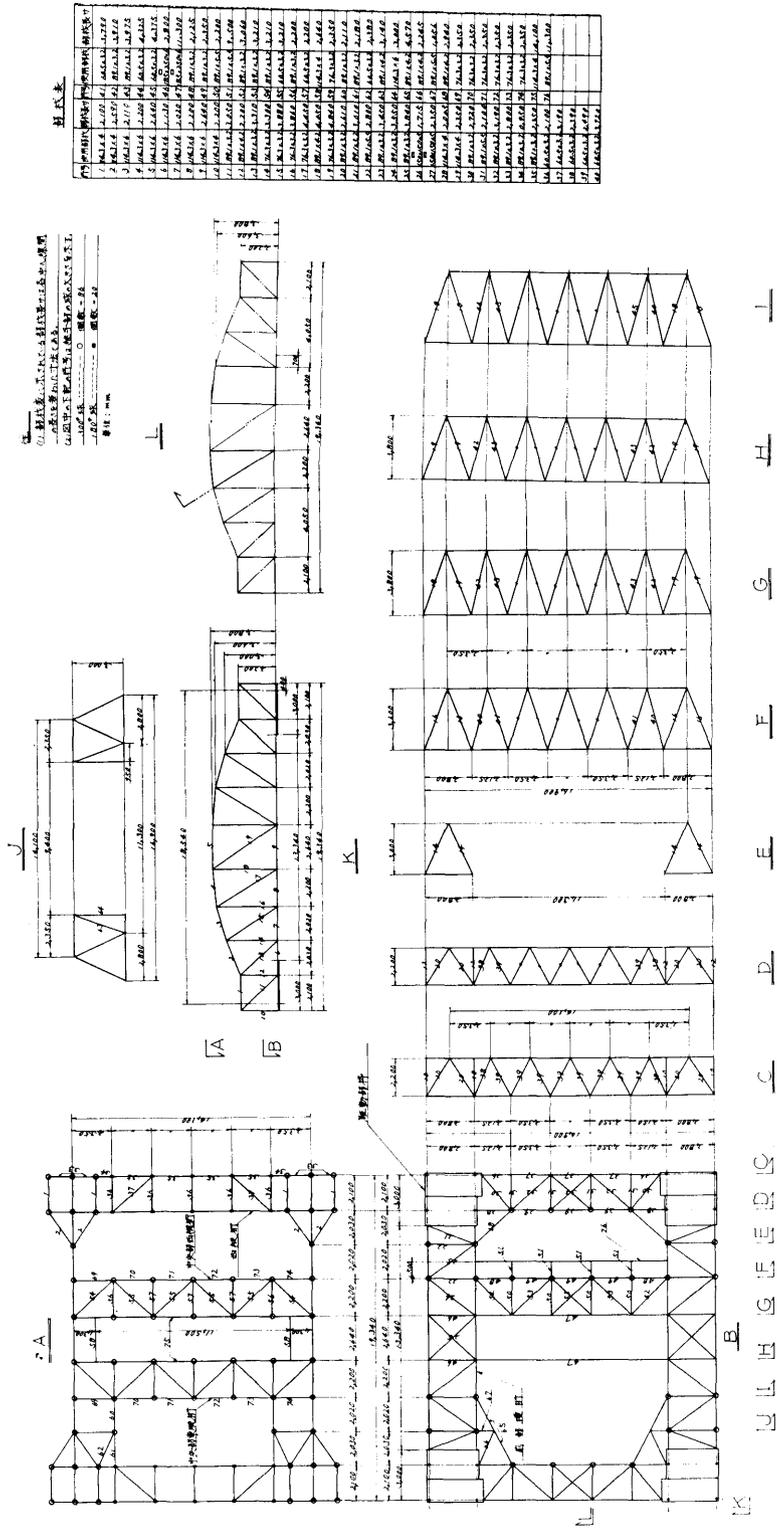


図 5-8 曳引車の部材寸法

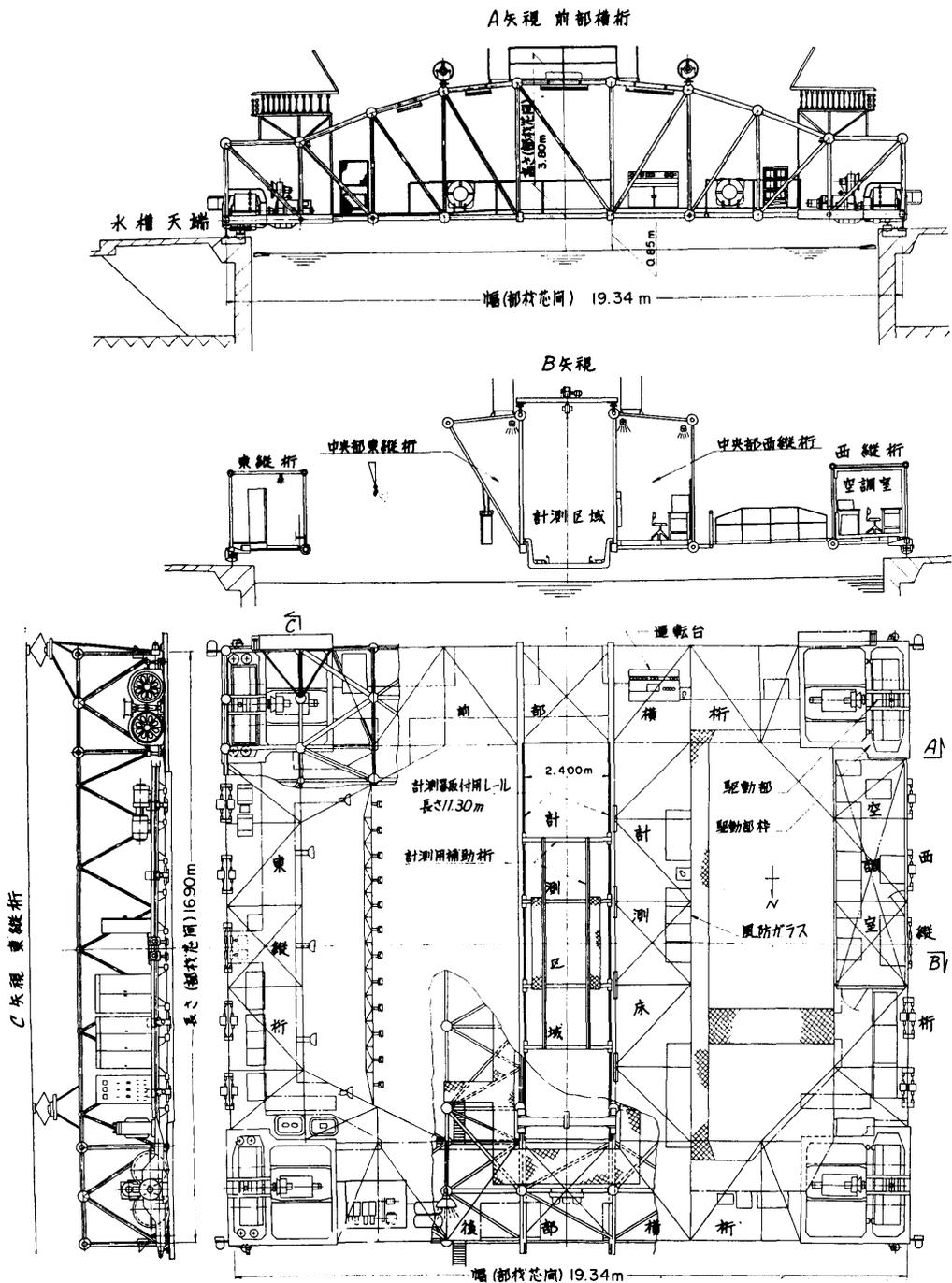


図 5-9 曳引車の一般配置図

その位置で局部撓み+中央部縦撓み+前後横撓み $= (0.32+1.6+0.83) \text{ mm} = 2.75 \text{ mm}$ となった。

最終的に決定した部材寸法を図 5-8 に示す。

5-5 一般配置

一般配置を決めるに当っては、計画概要に述べた点が実現出来るように特に慎重に、十分検討された。その結果、大要つぎの特徴を備えたものとなった。(図 5-9 曳引車の一般配置図を参照)

- (1) 主桁内の空間はほとんど障害物を作らないようにしたので実験作業の空間としても、諸機器の設置面積としても、通路面積としても余裕のある利用が可能となった。
- (2) 床は一部を除いては、すべて同一高さにして幅も十分にとったので、床上の作業が容易であり、せま

さを感じさせない。床はどの個所も必要に応じて取りはずしが可能となっている。

- (3) 西縦桁内に空調室を設け、計測処理装置等を収納した。
- (4) 曳引車上の四周に床が設けられているので、どの個所でも歩いて行くことが出来る。このため実験の準備とか曳引車の点検には便利である。
- (5) 中央計測部と東縦桁間に広い空間をとったので、東縦桁の床から模型船等の実験状況がきわめて観察しやすい。
- (6) 中央計測部は上下、前後方向とも障害物がなく、模型船、計測機器の着脱、測定作業が容易である。
- (7) 中央計測部の上方四周に 5-15-6 に示す屋上フロアを設け、クレーンによる計測機器の積降し作業を容易にした。

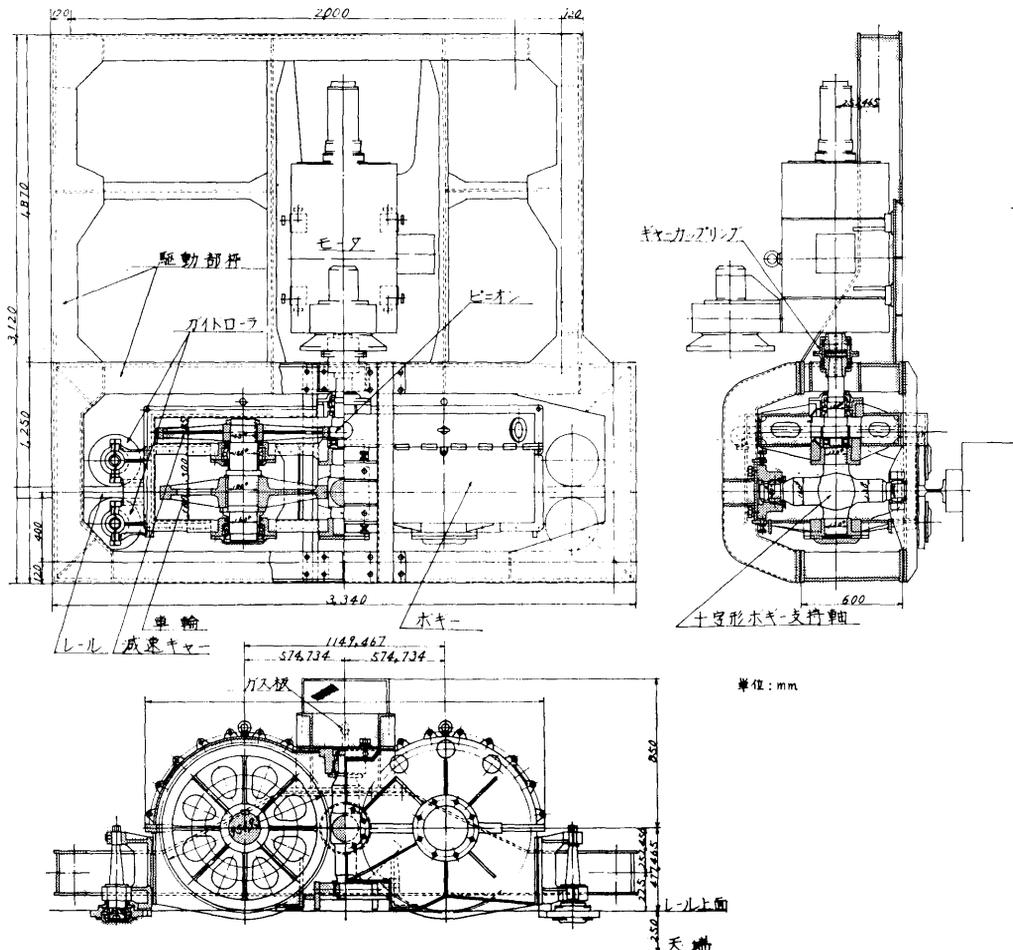


図 5-10 駆動部 (東側のものを示す)

- (8) 中央計測部の上方にホイストを設け、計測機器の着脱、あるいは移動が容易に行なえるようにした。
- (9) 西縦桁と中央部西縦桁間に橋を設置し、西縦桁内の空調室と中央計測部間の連絡を便利にした。
- (10) 計測器取付け用レールの間隔は、大トリミングタンク幅にほぼ等しく、大型模型船および大型計測機器を対象にして 2,400 mm としたが、これだけでは小さい模型船の実験などの小まわりの実験には不便であり、5-9-2 に示す計測部補助桁を設けてこれらの実験が容易に行なえるようにした。

5-6 駆動部

5-6-1 概要

曳引車 4 隅に配置され、この 4 組の駆動部で曳引車全重量を支持させる。駆動部は図 5-10、写真 5-2 に示すように駆動部枠の中に納められており、ボギーとモータおよびカップリング等から構成される。ボギーを構成する車輪の車軸間隔 L_1 および前後のボギー間隔 L_2 は図 5-3、図 5-5 および付録 A-2 にもとずいて

$$L_1 = m \cdot l$$

$$m = 1.437, l = 800 \text{ mm} \quad \therefore L_1 = 1,149.467 \text{ mm}$$

$$L_2 = \left(n + \frac{1}{4}\right)l$$

$$n = 17, l = 800 \text{ mm} \quad \therefore L_2 = 13,800 \text{ mm}$$

とした。

ガイドローラは図 5-6B のように東側各ボギーの前後に取付けた。前述のとおり東側ボギーはピッチング、ヨーイングの行なえる自由度 2 であり、西側ボギーは自由度 2 をもつ東側ボギーと全く同じ構造であるが、ヨーイングを完全に拘束せず、弾性体（たとえば耐振ゴム等）を用いてバッファの働きをさせ、ボギーに若干のヨーイング運動を許す構造とした。東側ボギーの長蛇行運動によって西側車輪はレール面との間に進行方向と直角な迂り力を受け、この力が横主桁の伸縮力

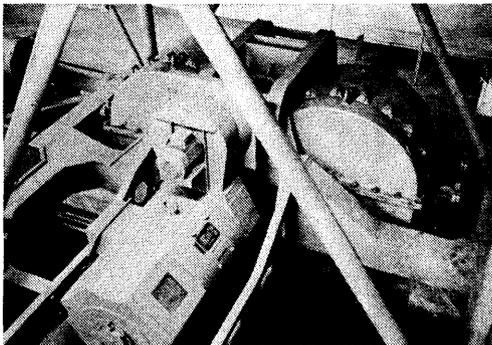


写真 5-2 駆動部（駆動部枠、ボギー、モータ）

(140)

と等しくなったときに迂りを生じる。この迂りによって起きる衝撃的な力を出来るだけ緩和するために上記の試みをおこなうこととした。しかし現在はこの弾性体部にニードルベアリングを挿入して、ピッチングのみを許し、ヨーイングは完全に拘束して使用している。

5-6-2 動力の伝達

モータをボギーから切離すか、あるいはボギーと一体化した構造にするかの問題で、長い検討期間を要した。モータをボギーと一体化したときの長所はモータ軸とピニオン軸が直結でき、ボギーが運動しても動力伝達に無理が生じないし、また継手を必要としないからバックラッシュを起す個所が 1 ケ所減じる。欠点はモータの支持台がボギー側面に取付けられる結果、ボギー重心が車輪から大きくはずれてボギーのヨーイングモーメントが大きくなり、また駆動部の構造が複雑になる。モータをボギーから切離したときの長所は、モータは別個に取付けられるので、ボギーはボギー単体で運動ができ、その重心を車輪に近くおくことができる。その結果ボギーのヨーイングモーメントが小さくなり駆動部の構造も比較的簡単になる。欠点は、ボギーの運動によって軸継手に無理を生じる可能性をもつとともに、バックラッシュを生じる可能性をもつ。

モータをボギーから切離したときに軸継手に要求される条件は、ガイドローラの最大変位を 0.2 mm としたとき、モータ軸とピニオン軸との変位角は大略 $1.5 \times 10^{-4} \text{ rad.}$ であり、この変位角によっても $230 \text{ kw} \times 1,800 \text{ rpm}$ の動力を強度的に無理がなく、しかも動力と回転数に変動を起さないように伝達することが可能で、しかも速度自動制御の観点からバックラッシュは 0.32 deg 以下ということで、この条件を満足するものとして大阪製鎖造機(株)の特 GC-1080 型ギヤカップリングを見出したので、この軸継手を使用してモータをボギーから切離すことにした。

5-6-3 構成部分の説明

5-6-3-1 車輪

車輪の要目を表 5-3 に示す。後述する補助台車の車輪も同じ仕様にし、余備 1 個を含めて計 13 個を製作した。硬度はレール面の硬度よりやや少ない値とした。周側面は芯出しの際の前後見通し用として入念に仕上げられた。

5-6-3-2 減速歯車

減速歯車の要目を表 5-4 に示す。モータは高速回転になるほど軽量になるが、自動速度制御の観点からバックラッシュを少なくするために、一段減速が望まし

表 5-3 車輪要目

円周長さ	(3000±0.12)mm
直径の誤差	(±1/25000)×直径ただし15°Cにおいて
軸偏心誤差	"
踏面幅	レール幅+(20±0.1)mm=(80±0.1)mm
踏面硬度	Hs 50~55 (中周波焼入れ)
材質	シリコンマンガン鋼

表 5-4 ビニオン・ギヤー要目

	ビニオン	ギヤー
モジュール	2	
歯数	81	488
減速比	6.0247	
種類	シングルヘリカル	
歯幅	60 mm	
材質	SCM 3	リム SNC 2 } スポーク SS41 } 溶接 ボス S 35 C }
硬度	H _B 269~321	H _B 248~302
歯切精度	JIS-1 級	

い。本曳引車は1段減速でその減速比は約6とし、曳引車速度 15 m/sec でモータ回転数は 1,800 rpm になるようにした。ギヤー軸は車輪軸と一体をなし、車室隔壁によってギヤーは油密室の中に油漬けとなっている。

5-6-3-3 十字型ボギー支持軸

十字型ボギー支持軸は図 5-10、写真 5-3 に示すよ

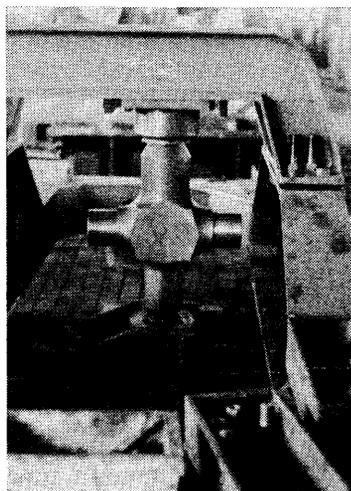


写真 5-3 十字型ボギー支持軸

うに、曳引車の重量をボギーに伝えるとともに、ボギーのピッチング、ヨーイング運動に対する回転軸となっている。材質は SF 50 である。

5-6-3-4 軸受け

ビニオン軸の軸受けには、前面突合せの円錐コロ軸受けと円筒コロ軸受けを使用した。ギヤー軸は車輪軸と一体であり、軸受けは球面コロ軸受けを、十字型ボギー支持軸の軸受けには平軸受けと特殊球面コロ軸受けを使用した。

5-6-3-5 ガイドローラ

ガイドローラは曳引車東側の2つのボギーのそれぞれの前後に1対ずつ取付けられた。レール上部の両側面を向い合せに配置された1対のガイドローラではさむ構造になっており、本ガイドローラで曳引車の直線走行の精度保持をはかった。ガイドローラの荷重はつぎの考え方で求めた。すなわち、曳引車の蛇行走行によってガイドローラにかかる最大水平力は車輪とレール間の摩擦力の限界であるとすれば、ガイドローラ1個当りの荷重は 2,450 kg となる。強度計算にはこの値を使用した。

ガイドローラの材質は S 45 C、直径 300 mm、踏面幅 25 mm、踏面硬度は H_B 200~250、軸の材質は SF 50、軸受けは円錐コロ軸受けである。なお、本ガイドローラは固着式であるが、ローラ軸の偏心によって、ローラとレールとの間隔 (0.1~0.15 mm が普通状態である) を 3 mm 以内の範囲で精密調整が可能となっている。万一ガイドローラが破損した場合を考慮して、脱線防止金具がボギーごとに2個取付けられている。なお、脱線防止金具は西側前後端にも1個づつ取付けられている。

5-6-4 駆動部における各軸の組立て精度

西側ボギー (自由度はピッチングのみ) においては、車軸および十字型ボギー支持軸の横軸の水槽中心線とのなす直角取付け精度、および上記の両軸の水平取付け精度はそれぞれ 90°±5°、±5° 以内、また十字型ボギー支持軸の垂直軸の鉛直取付け誤差は ±5° 以内にすることを目標とした。東側ボギー (自由度はピッチング、ヨーイングの2をもつ) においては、ボギーを基準状態 (ボギー縦中心線を水槽中心線と平行にした状態) においたとき西側ボギーで規定した総ての精度と全く同じ精度に取付けることを目標にした。また車輪の踏面と車輪軸との平行性も ±5° 以内に規定した。

5-6-5 駆動部枠の強度計算

駆動部枠は、図 5-10 に示すとおり、曳引車の強度

部材とは独立に強固に枠構造として曳引車の4隅をかため、曳引車重量をボギーに伝える。枠内にはボギーを収容し、またモータの支持台ともなっている。強度計算はつぎのようにして行った。

- (1) 十字型ボギー支持軸に作用する荷重を 35 ton/4 とし、駆動部枠にその作用点を決める。
- (2) モータの重量を 950 kg とし、その作用点を決める。
- (3) 水平力は(1)(2)の鉛直荷重の 0.7 倍を短期水平力、0.35 倍を長期水平力とした。
- (4) 曳引車の特殊用途（補助台車の連結等）によって生じる水平局部荷重も算入した。
- (5) 材質は SS41 のプレートをもとして使用し、I 型ビームによる単純梁として計算した。
- (6) 駆動部重量はモータを除いて 3.2 ton を目標にした。

5-7 加速度・減速度

5-7-1 加速度

加速度はレールと車輪との間の送り摩擦係数が最大どの位までとれるかによって決まるが、レールと車輪の表面状態が最悪状況（錆び、防錆処理、水槽内湿度等による）のもとでも車輪が絶対にスリップしない条件として、最大加速度を 0.1 g と想定した。

加減速時のスリップは、レール面、車輪面を損傷させるばかりでなく、所要の加減速値がとれない。さらに、計測系に有害な影響を与えることもある。また定速走行時のスリップは定速走行性能をそこなう。

5-7-2 減速度

本曳引車は大型で重量が大であるにもかかわらず、15 m/sec の高速であり、さらに小人数による計測を目標としているから、安全のために制動装置は慎重に検討の上計画された。

計測時間を十分長くとり、かつ計測機器、模型船、曳引車等に損傷を与えない程度の減速度をとるという条件からつぎの4段階の制動による減速度を考えた。

- 通常制動の減速度 0.01~0.1 g
- 強制制動の " 0~0.25 g
- 非常制動の " 0~0.4 g
- スプリング制動の減速度 0.05 g

5-8 制動装置

5-7-2 で述べたように本曳引車には4種の制動装置が備えられた。

5-8-1 通常制動装置

本装置は曳引車駆動モータの電力回生制動を利用し

た制動であって、車輪軸に制動トルクを加えるので、車輪がスリップしない条件からこの最大制動値がきまり、その値は 0.1 g である。この制動力は極めて円滑に作用するものであり、したがって本装置は、模型試験等の際、模型船、計測機器等を損傷させないように操作ができる。制動力の数値設定は往行（南進）の場合は、曳引車運転台上の往行減速度設定器により、復行（北進）の場合は、復行加減速度設定器により 0.01~0.1 g の間で 0.01 g 刻みで任意に選択することができ、自動的に所要の一定減速度が得られる。曳引車運転台および遠隔操作盤の曳引車停止用押ボタン操作、運転台右脇と計測部に設けられている強制制動用制動弁レバーの初段の操作を行えば本制動装置は作動する。そのほかに、水槽の南北両端に設けられている自動制動区域（5-8-6 参照）に曳引車が進入すると、通常制動装置は自動的に作動する。ただし、最南端の非常制動区域においては進入と同時に自動的に解除される。通常制動は曳引車の運転制御装置に依存しているので、運転制御装置の故障時と停電時は無効となる。運転制御装置に関係のない故障で曳引車を停止させる必要があるときは、運転補助回路を開路させることにより通常制動で曳引車を停止させることが出来る。

制動力は曳引車が停止すれば自動的に消滅するが、その他の状態では押ボタン操作で簡単に制動力が解除できる。

5-8-2 強制制動装置

5-8-2-1 概要

本装置は 5-8-1 の通常制動装置よりもさらに大きな制動力を得るためのものであり、低速走行時の非常用、高速走行時の通常用として用いられるものである。曳引車の走行用レールの外側に設けられた制動用レールを制動シューではさむ方式となっており、空気圧縮機で発生した圧力を油圧装置により増強し、この油圧で制動ピストンを作動させ、制動レバーを介して制動シ

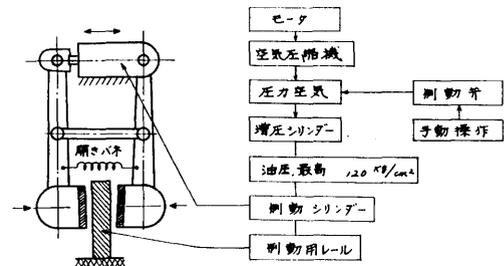


図 5-11 強制制動装置の概略図

ューにより制動用レールを両側から締めつける。制動弁レバーの操作角度により空気圧を加減して 0~0.25 g の間の任意の制動力を得る。作動概略図を図 5-11 に示す。

5-8-2-2 設計条件

設計は下記の条件を考慮して行なわれた。

曳引車重量 $W=58,000 \text{ kg}$

制動加速度 $\alpha=0.25 \text{ g}$

- (1) 必要最大制動力 (Fb) はつぎのようにして求められる。

$$Fb = \frac{W}{g} \cdot \alpha \approx 14,500 \text{ kg}$$

したがって、8組の制動装置を用いるとすれば1組当たり 1,813 kg の制動力を出す必要がある。

- (2) 1枚のシューに作用させるべき締めつけ力 (Pb) は、シューの摩擦係数 (μ) を 0.32 とし、 Pb を制動レールの両面から作用させることを考慮すれば $Pb = \frac{Fb}{8} / (2\mu) = 2,833 \text{ kg}$ となる。
- (3) 制動シリンダーの出力 (Fc) はつぎの通り。

$$Fc = P \cdot A$$

ここで P : 使用最高圧力 (kg/cm^2)

A : シリンダー断面積 (cm^2)

$A=28.3 \text{ cm}^2$, $P=120 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の制動用油圧シリンダーを使用するとすると、本シリンダーの最高出力は $Fc \approx 3,396 \text{ kg}$ となる。 $Fc/Pb \approx 1.2$ となりこれ

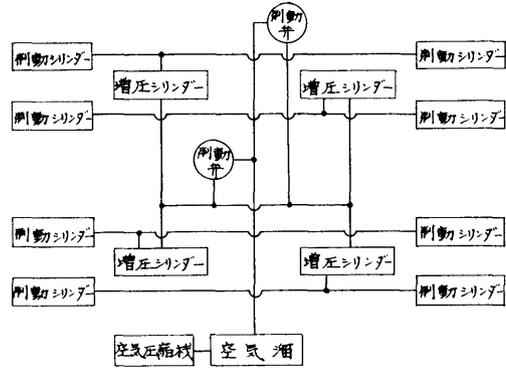


図 5-12 強制制動装置の系統図

は妥当と思われる。

5-8-2-3 制動シュー

以上の計算結果を参考に、制動シューとして下記のものを選んだ。

三好石綿(株)のセミメタリックモールド
SML-5700

面 圧 $P=20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以下

摩擦速度 $v_f=28 \text{ m}/\text{sec}$ 以下

摩擦係数 $\mu=0.37$ ($100^\circ\text{C} \sim 350^\circ\text{C}$)

表面積 $10 \times 33 = 330 \text{ cm}^2$ (シュー 1 個の制動面の面積)

5-8-2-4 配置と数量

制動シリンダーは東西縦桁の箱型下弦材にそれぞれ

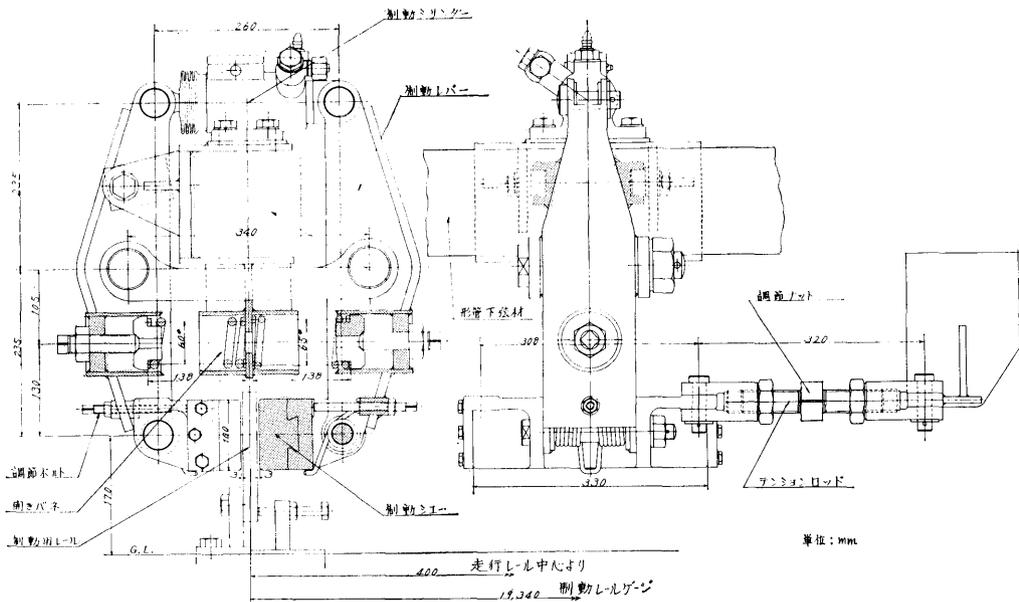


図 5-13 強制制動装置の構造図

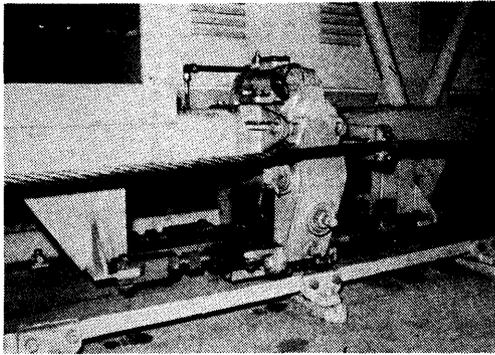


写真 5-4 強制制動装置
(東、西側にそれぞれ4個所、1ヶ所に制動
シュ1対、ワイヤロープは非常制動用)

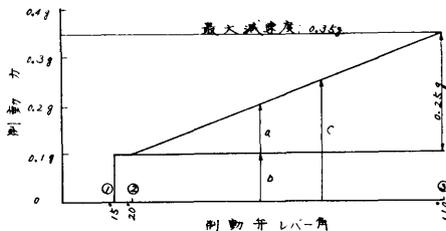
4組計8組が配置された。制動弁は曳引車運転台右脇と、計測部の2個所に設けられた。ブロック図で概略を示すと図 5-12 のとおりである。図の空気圧縮機、空気溜、増圧シリンダーは曳引車北東端にまとめた。

5-8-2-5 取付けの構造

制動シリンダーと制動シュを結ぶ制動レバーに制動力がかからないように図 5-13 および写真 5-4 に示すような構造とした。テンションロッドにはガタとテンションの不釣合を防ぐ調節ナットが、制動レバーにはレールとシュとの間隔を調節するボルトが取付けられている。

5-8-2-6 操作と機能

操作は、5-8-2-4 で述べた個所の制動弁のレバーを回転させると制動力が働く。制動力はこのレバーの回転角と比例するようになっている。ただし、通常制動の設定値が一定制動力として加算されるようになっているので制動弁レバー角と制動力の関係は図 5-14 のようになる。空気溜容量は本制動装置を全力制動で5回作動させるに十分な容量をもち、空気圧縮機は入れ



- ① 通常制動 "ON" a: 強制制動 0~0.25g
- ② 強制制動 作動時の b: 通常制動 (設定値 0.1g
- ③ ----- 全力制動 c: 強制制動 通常制動 併用範囲)

図 5-14 強制制動装置の制動弁レバー角と制動力

込み圧力が 7.3 kg/cm²、切り放し圧力が 8.2 kg/cm² で自動調圧運転される。また、何かの原因で空気溜圧力が入れ込み圧力以下に下がった場合は、曳引車は発進出来ないようにインターロック結合がなされている。圧縮機の作動に伴う振動が計測に影響しないように制御運転発進後は、たとえ入れ込み圧力以下に下っても、圧縮機は作動しない。ただし、復行時は走行中でも作動する。空気溜圧力が強制制動作動最低圧力以下になった時は後述する自動制動が作動する。

停電時でも上記の機能による強制制動は有効であり、したがって前述のように低速走行時は常に 0~0.25g の制動力が確保されていることになる。

制動解除は、制動弁レバーを戻すことによってなされる。

5-8-3 非常制動装置

非常制動装置は高速走行時に強制制動をかけても停止距離が不足した場合、あるいは、制動をかけ忘れたとき、または制動装置が何らかの原因で故障して無効になったとき等の暴走時の最悪事態に備えたものである。方式については、シーアッカー方式、ドラムを使ったバンドブレーキ方式、強カスプリング方式、前面がフラットな物体を水中に投下させる方式、斜面に乗りあげる方式、噴流方式等多種の方式について検討をした結果、噴流方式による流体緩衝を応用したものを採用した。

5-8-3-1 方式

図 5-15 に示すように曳引車がフックを引掛けるとピストンがシリンダー内を矢印方向に移動する。そのときシリンダ内の水はオリフィスから噴出し、その抵抗力によりシリンダ内の水に圧力が発生し、これによって制動力が得られる。

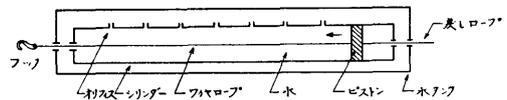


図 5-15 非常制動装置の方式

5-8-3-2 設計条件

設計は下記の条件を考慮して行なわれた。

- (1) 曳引車の進入速度 v が 15 m/sec のとき 0.4g の制動力が得られること。進入速度とは曳引車がフックを引掛けるときの速度である。
- (2) 進入速度 v と制動力 f の間に $f \approx 0.4g \times \left(\frac{v}{15}\right)^2$ なる関係をもつこと。

- (3) 制動装置の作動中は減速度がほとんど一定値になること。
- (4) 制動距離は進入速度 v が 15 m/sec のとき、大体 28~30 m の間であること。
- (5) フックを引掛けたときの初期衝撃力が過大にならないこと。

5-8-3-3 特 性

本制動装置を模型的に示すと図 5-16 のようになる。

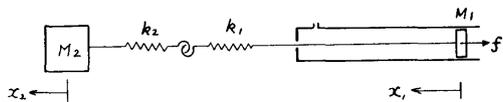


図 5-16 非常制動装置の等価表示

運動方程式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} M_1 \ddot{x}_1 - k(x_2 - x_1) + f &= 0 \\ M_2 \ddot{x}_2 + k(x_2 - x_1) + M_2 \alpha_s &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

M_1 : ピストンの質量+(ワイヤーロープの質量) × $\frac{1}{2}$ + 戻しロープの質量

M_2 : (曳引車の質量) × $\frac{1}{2}$ + (ワイヤーロープの質量) × $\frac{1}{2}$

$k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}$: ワイヤーロープのバネ定数

x_1 : ピストンの変位

x_2 : 曳引車の変位

f : 水の抵抗力

α_s : スプリング制動装置の減速度

ただし、曳引車の走行抵抗や、非常制動装置内のピストン・シリンダー間の摩擦抵抗等は省略されている。ピストンの最大ストローク S はつぎの式で求めた。

$$S = \frac{E/2}{\mu \cdot F} \quad (\text{m}) \quad \dots\dots(2)$$

E : 曳引車の運動エネルギー ($= \frac{1}{2} W V_0^2$)

F : (非常制動時に曳引車にかかる最大制動力) × $\frac{1}{2}$ ($= \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot \alpha$)

μ : 制動系の緩衝効率 ($\mu=0.8$ とした)

W : 回転部分の慣性を考慮した等価曳引車重量 ($=60 \text{ ton}$ とした)

V_0 : 最大進入速度 ($=15 \text{ m/sec}$)

α : 制動系の減速度 (過大想定値として 0.5 g とした)

これらより $S \approx 29 \text{ m}$ となる。

水の抵抗力 f が一定に作用する系において \dot{x}_1 と S の間につぎの近似式が導かれる。

$$\dot{x}_1 = V_0 \sqrt{(1-x_1/S)} \quad (\text{m/sec}) \quad \dots\dots(3)$$

一方水の抵抗力はつぎの式で示される。

$$f = \frac{\rho}{2g\zeta} A_0^2 A \frac{\dot{x}_1^2}{a^2} \quad \dots\dots(4)$$

ρ : 水の密度

ζ : 圧力降下係数 ($\zeta=cd^2=0.5$ とした)

A : シリンダーの断面積 (直径 20 cm)

A_0 : A-導索孔の断面積 (導索孔の直径 2.4 cm)

a : オリフィスの面積

ここで f の必要最大値 f_{max} は $v=15 \text{ m/sec}$ のときであり f_{max} は、 B_s を本制動装置の作動中に一定減速度 (α_s) で作用しているスプリング制動(後述)の制動力 ($\approx 1.73 \text{ ton}$) とすると

$$f_{\text{max}} = F - B_s \text{ から } f_{\text{max}} = 13.27 \text{ ton} \text{ となる。}$$

他方、オリフィス面積は(4)式より求められる。

$$a = 4.8 \times 10^{-2} \dot{x}_1 \text{ (cm}^2\text{)}, \text{ ただし } \dot{x}_1 \text{ は cm/sec 単位} \quad \dots\dots(5)$$

水の抵抗力を $f = c_0 \dot{x}_1$ とすると

$$c_0 = \frac{f_{\text{max}}}{\dot{x}_1^2} \approx \frac{59}{1-x_1/29} \quad (\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^2) \text{ となり}$$

$$\left. \begin{aligned} (1) \text{ は } \dot{x}_1 - \frac{k}{M_1} (x_2 - x_1) + \frac{59}{M_1(1-x_1/29)} \dot{x}_1^2 &= 0 \\ \ddot{x}_2 + \frac{k}{M_2} (x_2 - x_1) + \alpha_s &= 0 \end{aligned} \right\} \text{ となる。}$$

初期条件として $t=0$; $\begin{cases} x_1=0, \dot{x}_1=0 \\ x_2=0, \dot{x}_2=v \end{cases}$ を与え

$M_1 (=15.89 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m})$, $M_2 (=2,749.10 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m})$

$k (=28,130 \text{ kg/m})$, $\alpha_s (=0.4 \text{ m/sec}^2)$ に数値を入れて解いた結果を図 5-17 に示す。ただし、予備実験から c_0 に対し $1/1.21$ の修正が必要であることがわかったので図 5-17 にはこの修正が含まれている。

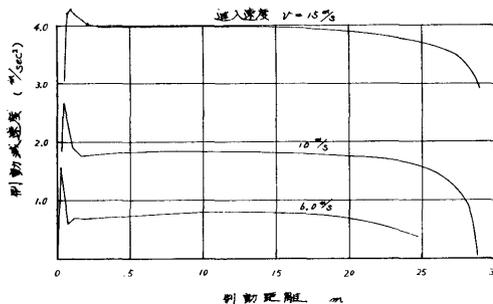


図 5-17 非常制動装置の特性曲線

5-8-3-4 配置等

本装置の水槽南端における配置と曳引車の関係を図 5-18 に示す。図に示されているように水槽両側に長さ

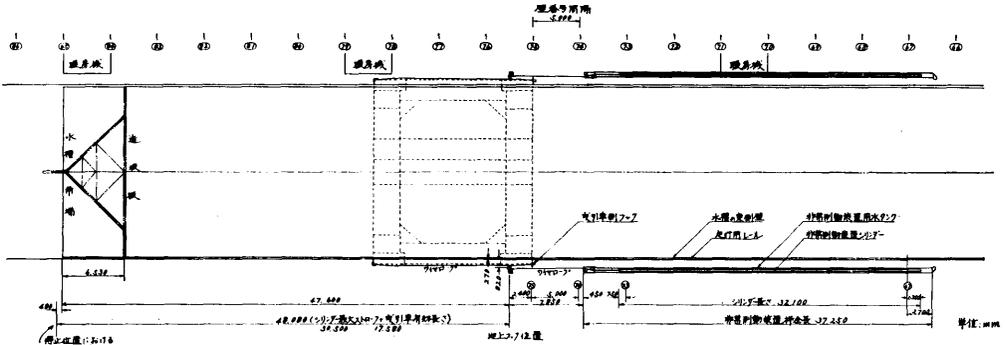


図 5-18 非常制動装置の配置図

32.1 m のシリンダーを取付けた。なお、シリンダーには 5-8-3-3 の(5)式を大体満足させるように 13.5 mmφ のオリフィス 50 個を全長に配した。シリンダーは水タンクの中に入れてある。初期衝撃力はワイヤーロープの弾性で緩和するようにした。曳引車両側での制動力の不釣り合いを心配したがその分はワイヤーロープを長くすることでかなり緩和されるものと考えた。曳引車におけるこの制動力の作用点は東西の前部駆動部枠とし、ワイヤーロープは、制動力の作用時に跳ねることのないように東・西縦桁の下弦材を利用して引張力方向を除いて拘束するようにした。水タンクにはフロートスイッチを取付け、水位が所定の位置にあれば、非常制動装置の北端部に青いランプが点灯され、水槽北端から確認できるようになっている。

5-8-4 スプリング制動装置

5-8-4-1 概要

本制動装置はつぎの目的で設けられた。

- (1) 走行中、停止中に拘らず、停電したときや電源を切ったときに自動的に作用する。これは、強制制動装置用の空気溜の空気圧力が低下して強制制動装置が無効になったときにも作動する。
- (2) 運転制御装置が故障して通常制動装置が無効になったときはベルが鳴り自動的に本制動装置が作用する。
- (3) 水槽南北端に、自動制動区域を設けて、この区域に曳引車が入ると自動的に本制動装置が作用する。これは計測者が計測に熱中するあまり、他の一切の制動装置を忘れかけた場合の注意喚起と保安のためである。

5-8-4-2 方式

制動シューで制動用レールをはさむ点は強制制動装置と同じであるが、本制動装置は図 5-19 に示すよう

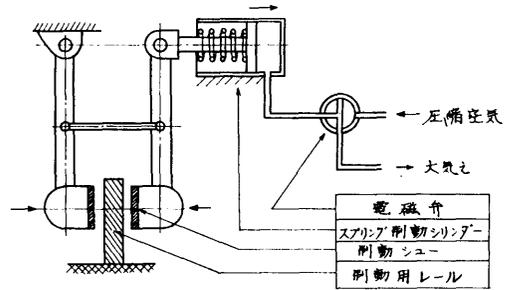


図 5-19 スプリング制動装置の概略図

にスプリングの力を利用したものである。通常走行時は、強制制動装置と共用の空気-油圧力でスプリングを開放している。圧縮空気の排出口は、常励磁電磁弁で常時は閉じている。常励磁電磁弁への送電が停止した場合は、この弁が開き、圧縮空気はこの弁を通して空気中に排出される。この場合にスプリングの力が制動シューに作用する。制動力は 0.05 g のほぼ一定(ただし、ストロークの変化により 0.04~0.06 g に変化する)とした。

5-8-5 制動装置の配置

曳引車における制動装置の配置を図 5-20 に示す。

5-8-6 自動制動区域

水槽の南北端に設けられた自動制動区域は大意図 5-21、図 5-22 に示す通りである。

5-8-6-1 北端自動制動区域

北端自動制動区域は曳引車北進時のみ有効であり①~④は無接触リレーにより自動的に作動する。

距離を決めた根拠はつぎのとおりである。

- (1) 復行最大速度 2 m/sec のとき(北進は一般に復行と考え、最大 2 m/sec とする)

通電時：②点に 2 m/sec で進入してくると、ここで通常制動の設定値が入る。設定値が最

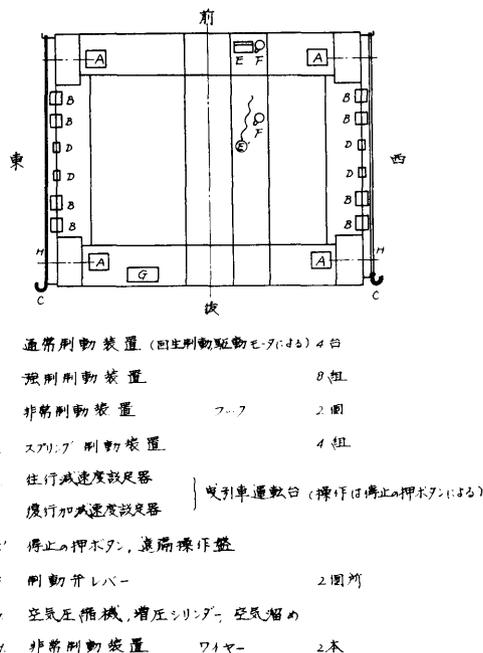


図 5-20 各制動装置の配置図

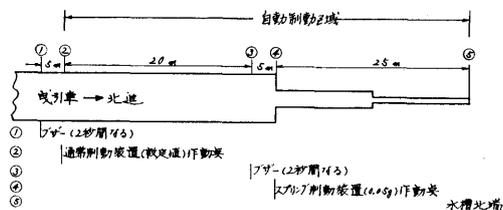


図 5-21 水槽北端の自動制動区域

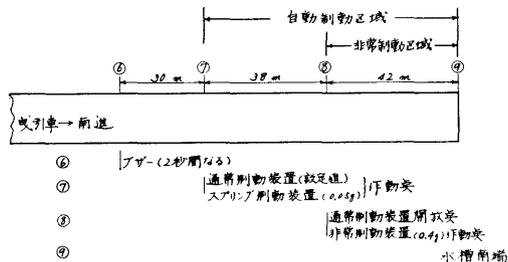


図 5-22 水槽南端の自動制動区域

小の 0.01g であれば③点で停止する。

停電時：②点に 2m/sec で進入してきてこの点で停電した場合、この点でスプリング制動の 0.05g が作動し②点の北方 4m で停止する。

(2) 北進最大速度 5m/sec のとき (北進で実験をする場合もあると考え、このときの最大速度を 5m

/sec と仮定した)

通電時：②点に 5m/sec で進入してくると、ここで通常制動の設定値が入る。設定値が最小の 0.01g であれば④点へ 4m/sec の速度で進入する。ここでスプリング制動の 0.05g が作動すると⑤点の南方 11.7m で停止する。

停電時：②点に 5m/sec で進入してきて、この点でスプリング制動の 0.05g が作動し②点の北方 25m すなわち④点で停止する。

5-8-6-2 南端自動制動区域

南端自動制動区域は曳引車南進時のみ有効であり、⑥、⑦は無接触リレーにより、⑧の非常制動装置の作動はフック、通常制動装置の開放はフックに取付けられているリミットスイッチにより行なわれる。

距離を決めた根拠はつぎのとおりである。

- (1) 高速時：最大速度の 15m/sec で⑦点に進入してくると、この点でスプリング制動の 0.05g (この点で停電すると通常制動は 0 となる) が働く。ここで強制制動装置の制動弁レバーを一杯まわして 0.25g を作動させると、計 0.3g が働く。⑦に進入してからレバーを一杯まわすまでの動作遅れを 0.2sec としても⑧点に到るまでに停止する。
- (2) 低速時：最大 6m/sec で⑦点に進入してくると、(1)と同じくこの点で最小 0.05g が作動し、⑦点より南方 36m すなわち⑧点の北方 2m で停止する。

南北端の自動制動区域においてすべての自動制動を解除して進入する場合は寸動 (6-4-8 参照) のみが可能である。

5-8-7 制動装置の併用

表 5-5 に示すような併用の組合せが可能になっている。表中の記号順に、併用の種類を図 5-21, 図 5-22 を参考にして説明するとつぎの通りである。

a : 北進時の④点に至るまでの範囲と、南進時の⑦点に至るまでの範囲で A+B の併用が可能となる。また、北進時で④点に至って④点のリレーの故障あるいは D の故障の場合は⑤点に至るまで A+B の併用が可能となる。

さらに、南進時で⑦点に至って⑦点のリレーの故障あるいは、D の故障の場合は⑤点に至るまで A+B の併用が可能となる。

b : 北進時の④点～⑤点の間と、南進時の⑦点～⑧点の間で A の設定値を投入するあるいは、A

表 5-5 各制動装置の併用

制 動 装 置	通常制動装置	強制制動装置	非常制動装置	スプリング 制 動 装 置	制 動 力 最 小 計	制 動 力 最 大 計	記 号	
符 号	A	B	C	D				
個 有 制 動 力	0.01~0.1g	0~0.25g 制 動 時 選 択	0~0.4g 進 入 速 度 に よ り 決 定	0.04~0.06g 固 定				
併 用 の 組 合 せ	A+B	0.01~0.1g	0~0.25g	Cの区域を除外	Dの自動作動を除外あるいは故障と考える	0.01g	0.35g	a
	A+D	0.01~0.1g	作動させず	"	0.05g	0.06g	0.15g	b
	A+B+D	0.01~0.1g	0~0.25g	"	0.05g	0.06g	0.40g	c
	B+C	※	0~0.25g	0~0.4g	故障と考える		0.65g	d
	B+D	作動させずあるいは停電	0~0.25g	Cの区域を除外	0.05g	0.05g	0.30g	e
	B+C+D	※	0~0.25g	0~0.4g	0.05g		0.70g	f
	C+D	※	作動させず	0~0.4g	0.05g		0.45g	g

備考 ※ AとCとの併用はない。

の設定値が投入されているときに A+D となる。

- c : 北進時の④点~⑤点の間と、南進時の⑦点~⑧点の間で A+B+D の併用が可能となる。
- d : 南進時に⑦点でリレーの故障あるいはDの故障により⑦点~⑧点の間でDが作動しないとき、⑧点~⑨点の間で B+C の併用が可能となる。
- e : 北進時の④点~⑤点の間、南進時の⑦点~⑧点の間で、A を作動させず（設定値を投入せず）にBを作動させれば B+D となる。さらに進行方向に関係なく⑤点から⑧点の間で停電しBを作動させれば B+D となる。
- f : 南進時の⑧点~⑨点の間で B+C+D の併用が可能。ただし、⑦点のリレーが故障して⑧点へ15m/s で進入したとき B の最大値を作動させると制動力の最大は 0.7g となる。
- g : 南進時の⑧点~⑨点の間で B が作動しなければ C+D となる。ただし、⑦点のリレーが故障して⑧点へ 15m/s で進入したときの制動力が 0.45g となる。

5-9 計測器取付け用レール

5-9-1 計測器取付け用レール

曳引車中央部の東西縦桁の中央よりの下弦材箱型ビーム上に 20mm 角の硬質ステンレススティール製のレールを設けた。これらは計測機器を直接または後述の計測部補助桁を介して取付けるためのものである。2条のレール間は、上下および前後方向に障害物の全

くない計測区域となっている。2条のレールは、同一水平面内で水槽中心線に対し、対称かつ平行に取付けられ、2条のレールにまたいだ任意位置の集中荷重 200kg および合計 3ton までの重量物搭載に耐えられるものとした。なお、計器搭載の際に位置の目安になるように両レールの側に目盛板がはられた。両レールにわたされた桁材は両目盛を同一にすれば水槽中心線に対して直角になる。本レールの上記以外の要目は表 5-6 に示すとおりである。

表 5-6 計測器取付け用レールの要目

レールの長さ	11.3 m
レールの内面間隔	2,400±2/10 mm
レール頂面の高低差	4/10 mm 以内
レールの支持点間隔	100 mm
基準水面からレール頂面までの高さ	1,129 mm

本レールを使用して船首、船尾ガイドの間隔が約 11m までの模型船が実験可能である。

これ以上の長い模型船に対しては、曳引車後端の中央部に突き出ている箱型ビームに取付けられている補助レールを使用する。この補助レールに船尾ガイドを取付けることによってガイド間隔が約 15m までの模型船の実験が可能になる。レールの内面間隔は大きいトリミングタンクの幅にあわせた。トリミングタンクと計測器取付け用レールとの関係を図 5-23 に示す。

5-9-2 計測部補助桁

表 5-6 に示すように、計測器取付け用レールはレー

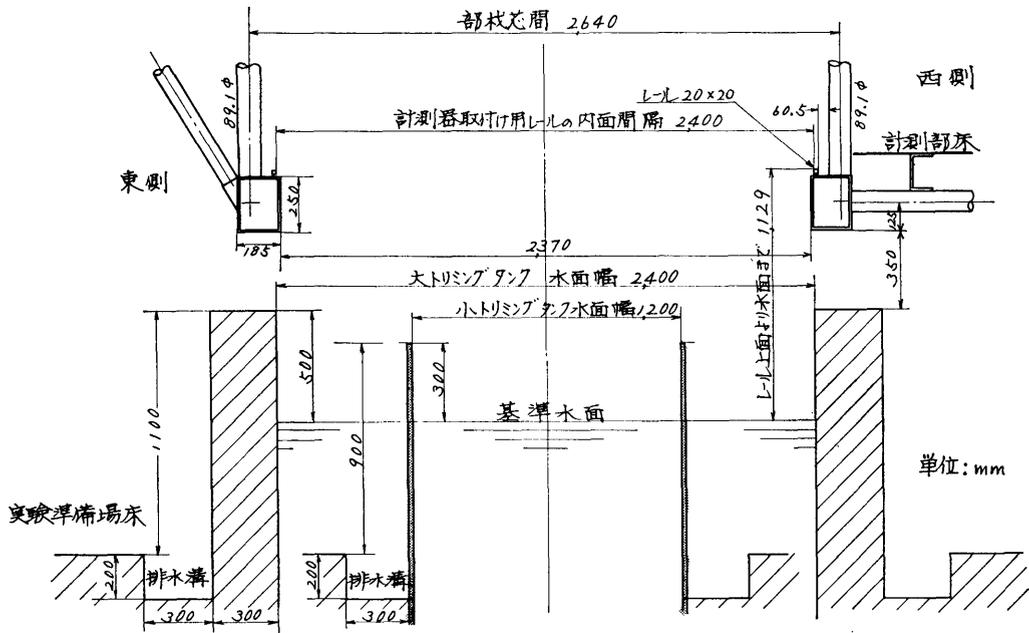


図 5-23 計測器取付け用レールとトリミングタンクとの関係

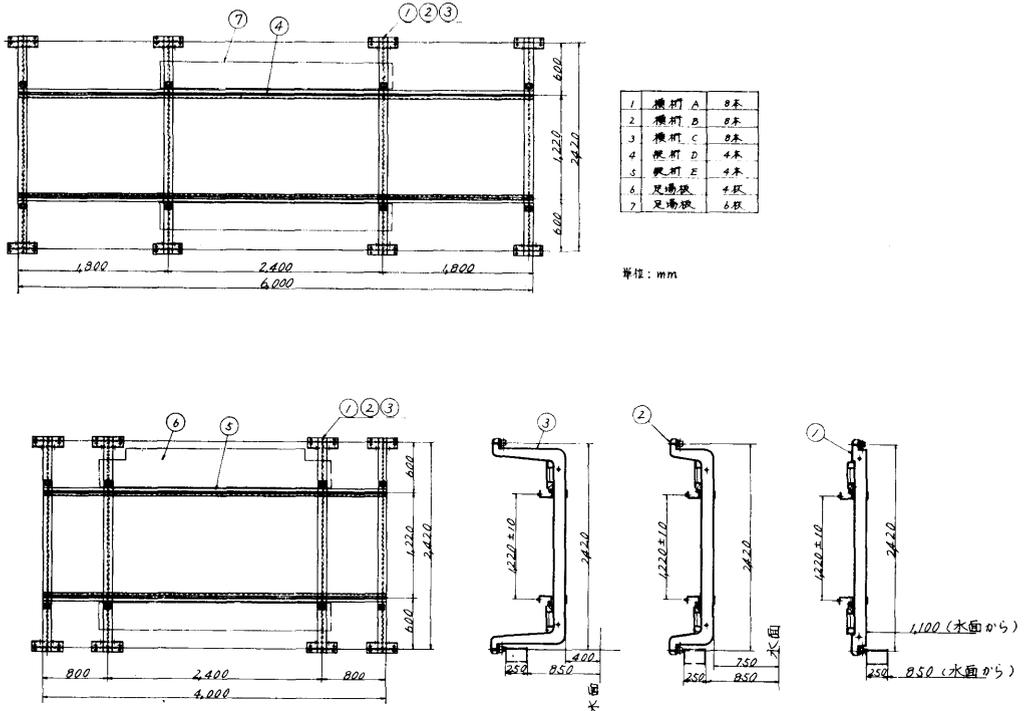


図 5-24 計測部補助桁

ル内面間隔，基準水面からレール頂面までの高さがともかなり大きいので，小型模型船を使用する場合などを考えて，つぎのような計測部補助桁を設けた。この補助桁は5-9-1の計測器取付け用レールに架設するものであって随時取付け，取りはずしが可能となっている。補助桁は計測器取付け用レールに架設する横桁と，横桁上に取付ける縦桁から構成されている。縦桁には5-9-1と同様なレールが取付けられており，このレールに計器を取付ける。横桁の取付け，縦桁の取付けは，図5-24に示す状態で2tonの中央集中荷重を搭載して最大制動をかけた場合も破損しないように強固な固着装置が設けられた。なお，横桁上の足場板も用意されている。補助桁を取付けた1例と用意されている縦桁と横桁の寸法とそれぞれの個数を図5-24に示す。

5-9-3 操縦性能試験用計測レール

曳引車の最前部に，水槽中心線と直角方向に前部横桁下弦材を利用して5-9-1の計測器取付け用レールと同様な長さ12.8mのレールが取付けられている。これは後述する補助台車に設けたレールと一対をなして操縦性能等対象物が水槽の幅方向に移動する実験を行なうためである。

水面より本レール頂面までの高さは1,334mm，一

対をなすレールの内面間隔は2,400mmである。

5-10 床張り

曳引車上の床張り配置は図5-9に示すとおりである。材質は耐水合板であり表面には全面にわたって濃緑色のロンリュームが張られている。床板は適当に区切られ，各個自由に取りはずせるようになっている。1ブロックの大きさは約800mm×1,800mmであり，四周は金属板で補強されている。床張りの下を利用して電線，各種ケーブル，油圧空気配管等のダクトが取付けられている。

5-11 曳引車上で使用する一般用電源

曳引車上で使用する照明用，計測機器用，速度制御装置用等の電源（ただし，曳引車駆動用電源は除く）として，当初は模型船工場用3φ220Vの動力線をそのまま，トロリー線で曳引車に給電する予定であった。しかし，トロリー線による電圧降下が大きく，曳引車の位置によって電圧にかなりの差が生じることがわかった。これをさけるため，水槽棟北端の動力室に3φ220Vを3φ600Vに昇圧する120KVAの変圧器をおき，トロリー線には3φ600Vを給電した。トロリー線電圧を600Vに選んだ理由は，一般に送電電圧の降下比は線電圧の自乗に逆比例すること，一般低圧用器具（たとえばNFB等）の規格が最高600Vで

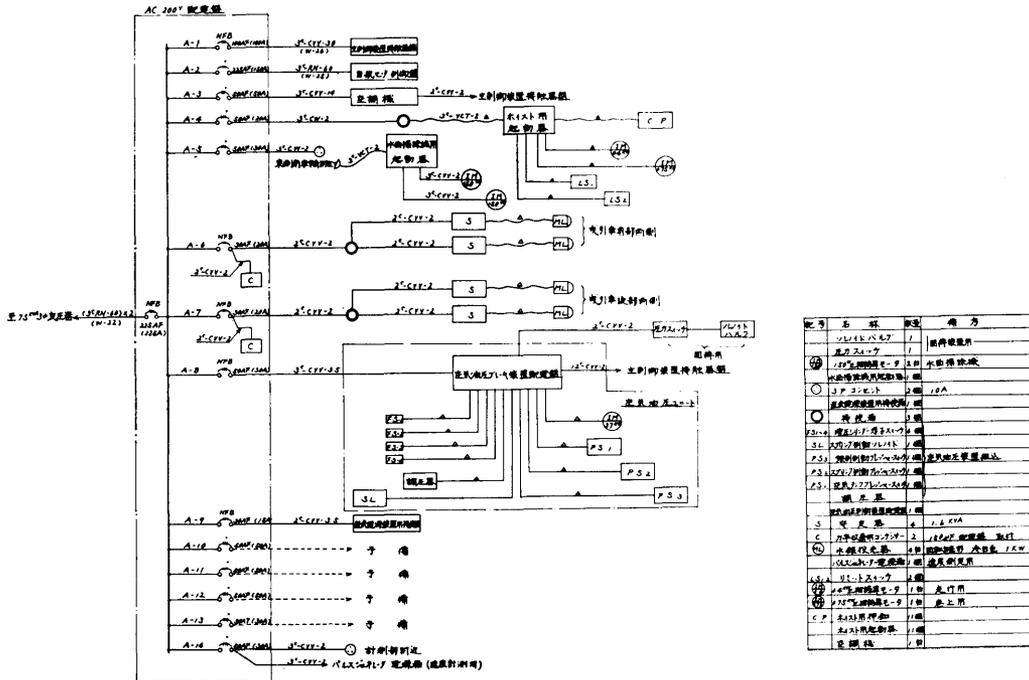


図 5-25 A.C. 220 V 電路図

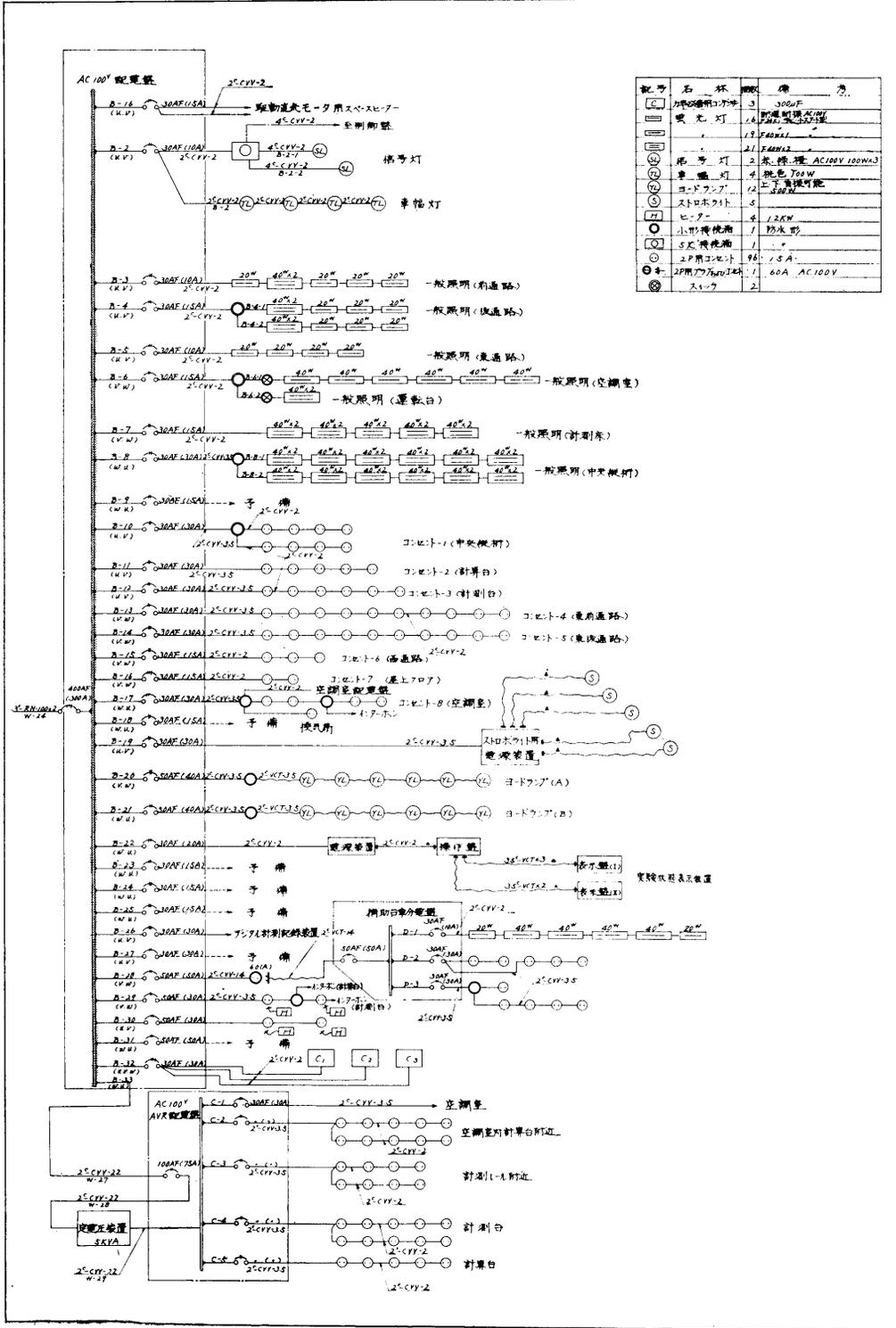


図 5-26 A.C. 100 V 電路図

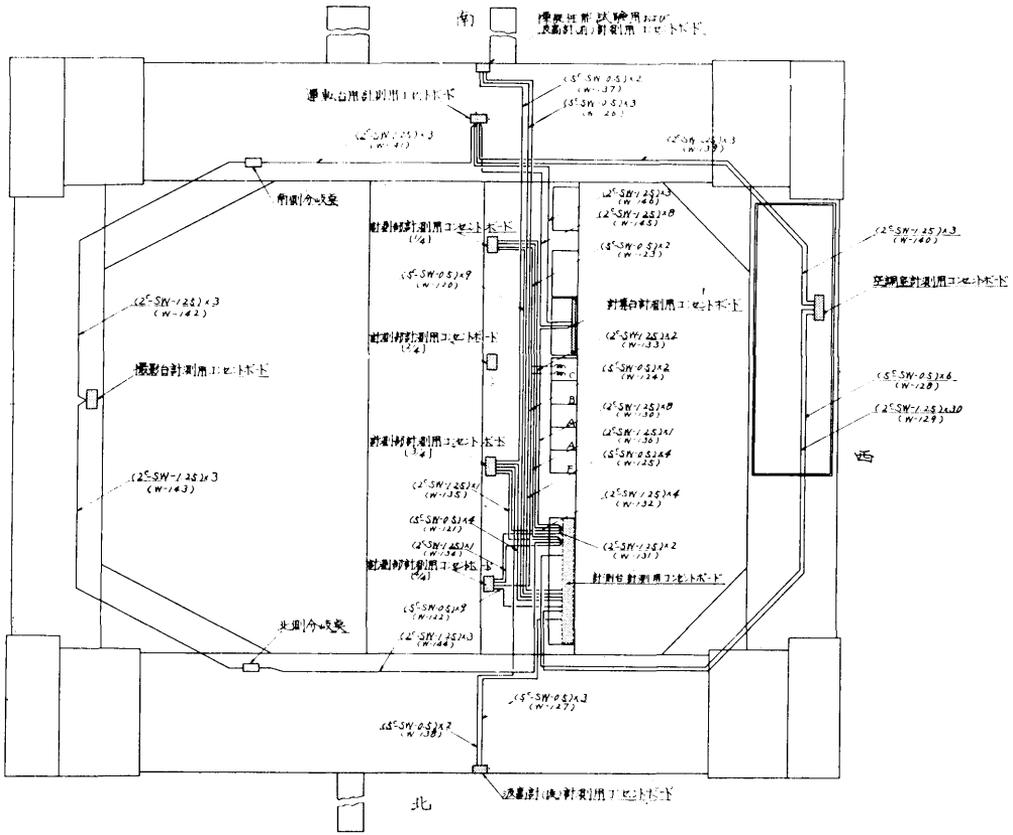


図 5-27 計測用配線の系路図

あることの二つの理由による。トロリーの線電圧を 600V にした結果、曳引車の位置による電圧変動は約 5% に押えることができた。

曳引車上には、トロリーから入る 3φ600V を 3φ220V に降圧する 60KVA の変圧器と、同様の 3φ600V を 3φ100V に降圧する 50KVA の変圧器をおいて、動力線用 3φ220V と、照明用等の 100V を供給している。各相間の平衡が悪くなるとトロリー線における電圧降下が増加するので、100V も 3相にして各相間の負荷をできるだけ等しくなるように蛍光灯、コンセント等を配置した。

5-11-1 220V 動力線

3φ220V は主として補助動力用に使用するもので、曳引車速度制御用、自航試験・プロペラ単独試験用モータを駆動するワード・レオナード電動発電機およびその制御用、空調室冷暖房機用、ホイストモータ用、水面掃除ポンプ用、制動装置の空気圧縮ポンプ用、直流電源装置用、投光器用、抵抗動力計昇降用および速

度検出装置用にそれぞれ電力を供給するものである。A.C. 220V の電路系統図を図 5-25 に示す。

5-11-2 100V 一般用

3φ100V は、各相の負荷が大略均等になるように、主として照明用および計測用電源コンセントに単相で配線されている。計測部を中心にして曳引車のどなたころでも A.C. 100V が使えるように、47個のコンセントが曳引車の各所に分散されている。コンセントの容量は1個につき 15A であり、コンセントを数個まとめて 30A の N.F.B. (No Fuse Braker) に接続されている。また、制御用電源が投入されていないときには駆動モータのスペースヒータに A.C. 100V を通電する。A.C. 100V の電路系統図を図 5-26 に示す。

5-11-3 A.C. 100V 定電圧電源

特に安定を要する計測器等の電源用に A.C. 100V 5KVA の磁気増幅器型の定電圧電源装置 (AVR) が用意された。この出力は計測部と空調室のコンセントおよび曳引車搭載のデータ伝送装置に供給されてい

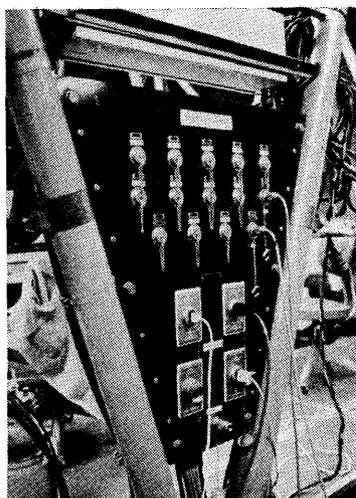


写真 5-5 計測部のものを示す

る。A.C. 100 V 定電圧電路系統は図 5-26 に併せて示されている。

5-12 計測用配線

水槽実験はその大部分が電気計測によることが多く、検出部からデータ処理機器まで、複雑な配線を行なうことがしばしばあり、それ等の配線で計測床が混乱し、実験準備あるいは、事故処理の段階で思わぬ時間を費すことが多い。

円滑に計測用配線を行なうために、曳引車上で予測される検出機、データ処理機の配置個所相互の間に計測専用線を設けた。使用ケーブルは 5 芯 0.5 mm² シールド線および 2 芯 1.25 mm² シールド線の 2 種類に統一されている。2 芯のものは、出力信号用および制御用として使用できるようにした。

計測用配線の系路図を図 5-27 に示す。各配線の両端は、図 5-27 に示す個所に設けられたコンセントボードのメタルコンセントに接続されている。なお、コンセントボードには、A.C. 100 V 一般電源、A.C. 100 V 定電圧電源もまとめられている。写真 5-5 はコンセントボードの一例として計測部に設けられているものを示す。

5-13 照明装置等

5-13-1 一般照明

曳引車上の一般照明としてはすべて 40 W と 20 W の蛍光灯を使用し、計測床、空調室内は 300 ルクス、模型船取付部は 200 ルクス、その他、通路床は 100 ルクスないし 20 ルクスの照度となるようにした。

5-13-2 局部照明

水槽通路などで作業を行なう場合に集中光を当てる

目的で、曳引車の四隅に 1 kw の水銀灯投光器を計 4 個設けた。これは比較的暗い水槽棟内で作業をする場合に有効に利用されている。

5-13-3 標識灯

水槽通路の通行者に注意を与えるため、曳引車の最大幅を示す車幅灯を前後部の左右に計 4 個設けた。

5-13-4 信号灯

曳引車の運転状態を示す信号灯が曳引車の前、後部横桁上弦材の中央部に 1 組ずつ取付けられた。

これは赤、緑、橙の 3 色を 1 組とし、観測者が赤色を見た場合は、曳引車が観測者に近づいていることを、緑を見た場合は遠ざかっていることを、また橙を見た場合は停止していることを示すようになっている。点滅は曳引車の運転に連動している。本水槽のように走行距離が大きい場合は、曳引車が観測者から離れた場合、曳引車の運転状態が判断しにくい、この信号灯により容易に判断できる。これは高速運転時には安全のためにも必要なことである。

5-13-5 一般撮影用照明

照射距離 3 m において、ASA 50 のカラー 35 mm を絞り F4、シャッタースピード 1/500 で常用模型船 (7~8 m) の船側波形写真等が撮影できるものを計画した。カラー、モノクロのシネ撮影も対象としている。中央部東縦桁と東縦桁間の空間部に照明灯の取付桁を設け、ヨ一素ガス封入の 500 W 白熱灯(ヨードランプ)を 13 個取付けた。なお、局部補光にはリフレクタランプ 500 W 8 ヶを付属させた。

5-13-6 同期撮影用照明

照射距離 7.5 m で ASA 100 のモノクロ 35 mm を絞り F4、閃光最長持続時間 1/2000 sec、撮影間隔 5 sec 以内で常用模型船の船側波形写真等が撮影できるものを計画した。東縦桁下弦材に東芝製キセノン閃光放電管 FT-100 を 5 個配置した。

5-14 空調室

曳引車の西縦桁内に設置された空調室は、曳引車搭載機器のうち、防湿、防塵を必要とし、温度変化が故障の原因となるものを収容するためである。

有効床面積は約 10.82 m²、外形寸法は長さ 6,500 mm、幅 2,000 mm、高さ 1,723 mm である。構造は軽量鉄骨の骨組とし、東側に広い窓をもっており、外側を鉄薄板材、内装はアルミ板、ロンリューム床張り仕上げとなっている。壁材の間は、厚さ 75 mm のグラスウールまたは 5 mm の 2 重ガラスで断熱されている。2 ヶ所の出入口のほか、水槽準備場の天井走行ク

レーンで機器を搭載するための搬入口 (1,100 mm × 2,150 mm) を設け、また臨時に計測ケーブルを室外から引込むための貫通孔が設けられている。

空調室内の常備機器としては、曳引車速度制御装置、解析装置用の入出力装置、計測処理装置、操作テーブルおよび外部の計測器と接続するためのコンセントボード (47素子)、空調機、VTR 用端子等がある。

空調機は、大阪金属(株)製の VA 40 S, 6,800 kcal/h のもので室温 (23±3)°C、湿度 (55±10)% に保つことができる。空調機の振動をさけるため曳引車の前進時には自動的に運転を停止し、後進または、停止時に自動回復するようになっている。

5-15 艀装品その他

5-15-1 ホイスト

中央計測部の縦主桁上弦材にレールを設け、これに電動走行のホイストを設備した。計測機器等の搭載とか位置決めを行なうためのものである。容量は 1 ton、最大揚程は 6 m、走行距離は約 11 m である。フックの上下動、ホイストの前後走行は電動であるが水槽幅方向は固定であり、フックは曳引車中心線を前後に移動するのみである。操作は計測床上から押ボタン操作で行なう。レールの両端部には、曳引車の走行中にホイストが移動しないように固縛装置が設けられている。

5-15-2 波高計取付け台

波高計または流速計を、曳引車の前方、および後方に設置するためのものであり随時取付け、取りはずしが可能になっている。

5-15-3 補助撮影台

模型船等を前方から撮影するために設けたものであり、随時取付け取りはずしが可能になっている。

5-15-4 風防ガラス囲壁

曳引車の走行から起る風によって、計測作業が支障を受けないように計測床の 2 辺を風防ガラス壁で囲っている。

風防囲壁の適切な配置、囲壁まわりの気流が計測水面におよぼす影響等を曳引車模型による風洞試験で調べた。風防ガラスには透明アクリル板を使用した。取付枠および腰板には軽合金材を用いた。

5-15-5 実験状態表示装置および同操作盤

写真撮影時の実験状態表示に用いるもので、模型船番号、実験種別、排水量状態、速度、航走番号等を簡単な押ボタン操作で表示させるものである。表示装置としては富士通信機製造(株)の回転式反転表示盤を使

(154)

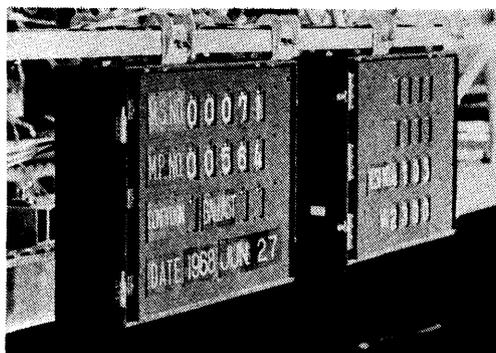


写真 5-6 実験状態表示装置

用し、4桁4行と5桁3行の数字が標示できるものである。操作盤は計測部に置き、遠隔操作である。実験状態表示装置を写真 5-6 に示す。

5-15-6 屋上フロア

計測機器の積込み、積降し作業およびホイストの点検修理作業を安全に行なうために、ホイストレールの周りに屋上フロアと手摺りが設けられており曳引車北側の床上から梯子によって昇降する。

5-15-7 絶縁ネット

トロリー線の下方に当る東・西縦桁の上面に絶縁ネットを張り、通路床における作業の安全をはかった。

5-15-8 曳引車への昇降梯子

実験準備揚床より曳引車の床までの高さは約 1.7 m である。曳引車後方に手動で軽く上げ下げのできる軽合金製の梯子を設けた。梯子の降りている間は曳引車は起動できないようにインターロック結合がなされている。

5-15-9 移動のできる階段

飛行場におけるタラップ式の移動可能な階段で、曳引車へ重い計測具を持ち込む場合に使用するものである。

5-15-10 電話

曳引車と計測事務室、曳引車と造波機操作室との間をトロリー線を使用して相互通話ができるよう電話を設けた。これは一般電話とも接続することができる。

5-15-11 手摺り

曳引車上の床、および屋上フロアにそって高さ約 870 mm の金属パイプによる手摺りを設け、作業、通行の安全を計った。

5-15-12 その他の艀装品

上記のほかつぎのような艀装品が備えられた。計算台、計測台、椅子、ロッカー、計器柵、レール掃除器、

消火器、救命ブイ、電気ヒータ、拡声装置、電気掃除機、扇風機、掛時計、気圧計、湿度・温度計、蛍光灯スタンド、等。

5-16 塗 装

下地処理、下塗り錆止め、上塗り化粧塗装の順で行なった。下地処理はデスクサンダーによりルーズミルスケール、青錆等を落とす。下塗り錆止めは鉄面用の速乾性メタルプライマーにより2回塗りを行ない4時間余りの自然乾燥を行なう。上塗り化粧塗装は日本ペイント(株)のボデラック1000級、塗色はマンセル記号2.5BG 6/6.5 のものを2回塗りして自然放置乾燥とした。なお危険部分は黄色と黒色の縞模様の塗装を行なった。

5-17 補助台車

補助台車は、連結桿で曳引車の前方に一定間隔を保って曳引車と連結され、曳引車の動力によって走行する。補助台車には曳引車前部横桁上の計測レールと対になる計測レールが1条取付けられ、操縦性能試験等水槽幅方向に移動する対象物についての試験を行なうことができる。また、水槽の水面掃除を行なう場合も補助台車を使用する。その他、造波板と造波板の駆動桿との連結などにも使用する。将来は自走できるように計画中である。

5-17-1 主構造・使用材料

図 5-28 に示すように、曳引車と同じく、STK 41 による鋼管トラス桁にし、断面は2等辺三角形である。

5-17-2 曳引最高速度

曳引車との連結桿の取付剛性とか、走行時の補助台車の横振れなどを考慮して補助台車の曳引最高速度を一応 6 m/sec とした。

5-17-3 サドル部

図 5-28 に示すとおりトラス桁の両端にサドル部を設けそれぞれ2個の車輪を収納し、東側サドル部の前後に1組づつガイドローラを取付けた。車輪とガイドローラは曳引車と同一のものを使用し曳引車用部品の予備を兼ねている。また、曳引車と同様に、東西両側前後に脱線防止金具も取付けられている。

5-17-4 主要寸法等

補助台車の主要寸法等は大要表 5-7 に示すとおりである。

表 5-7 補助台車の主要寸法等

幅 (部材芯間)	18,540 mm
長さ (")	3,000 mm
高さ (")	2,800 mm
ホイールベース	2,300 mm
基準水面より桁下弦材(芯)までの高さ	975 mm
曳引最高速度	6 m/sec

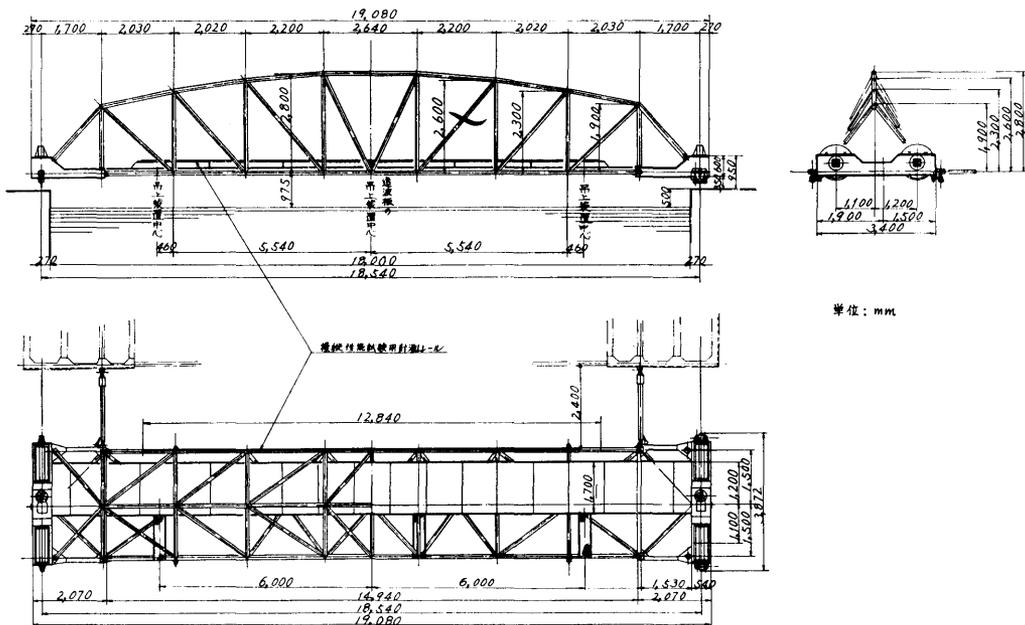


図 5-28 補助台車の構造図

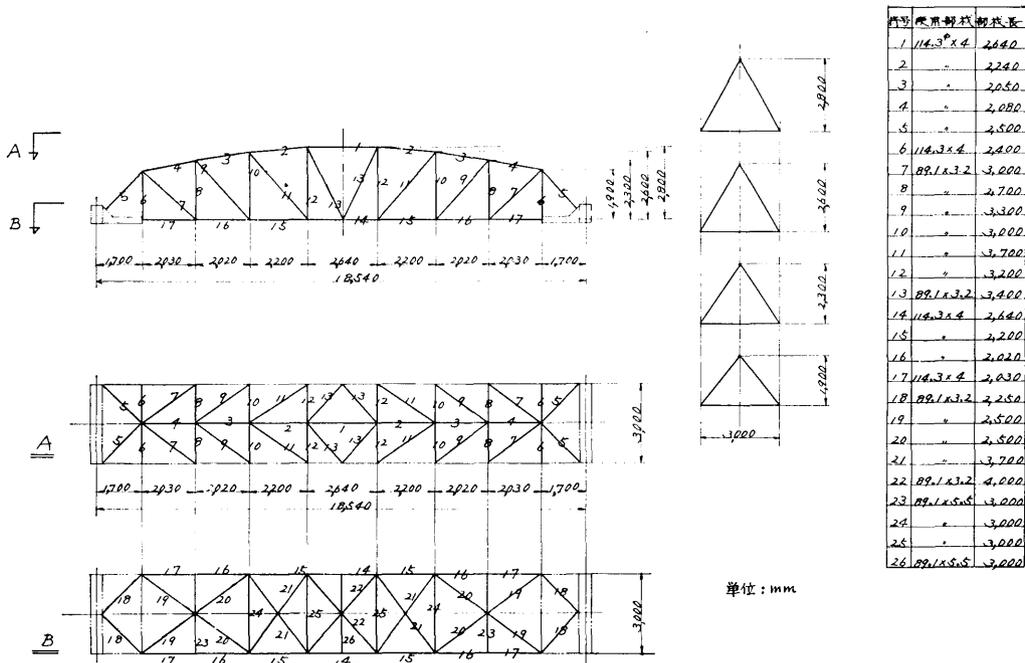


図 5-29 補助台車の部材寸法図

5-17-5 強度計算

設計条件 速度：0~6m/sec

最大減速度：0.4g (補助台車には制動装置はもたない)

荷重 鉛直荷重：自重+造波板支持荷重 (620kg×3)+搭載計器の集中荷重 (中央部 1 ton)

水平荷重：制動によるもの。自重×0.4g
走行時横振れによるもの。自重×0.1g (これはガイドローラに掛かる)

撓み 1トンの計器を中央部に集中荷重として搭載したとき、この荷重による中央部の撓みを 3mm 以内にする。

荷重係数 曳引車の場合と同じ数字を用いた。

このような条件で計算し、決定した部材寸法を図 5-29 に示す。

5-17-6 連結棒

図 5-28 に示すように補助台車後方の東西両側に、それぞれ 1本の連結棒が取付けられている。連結操作は、曳引車側に設けられている接続具により極めて簡単に行なえる。連結棒の収納もきわめて簡単である。連結棒の長さは補助台車・曳引車の操縦性能試験用計測レールの間隔を精密に調整できるように微調整装置

が取付けてある。

5-17-7 クランプ

サドル内に、レールをはさむ方式のクランプ装置が設けられており、これはサドル上のハンドルにより操作することができる。連結棒を曳引車に結合した場合は、クランプのためのハンドル操作がおこなえないようになっている。

5-17-8 操縦性能試験用計測レール

主桁の後部下弦材を利用して取付けられた。これは 5-9-3 に記した曳引車側に設けられている同レールと一対をなして使用されるものである。本レールについてのその他の事項は 5-9-3 を参照。

5-17-9 水面掃除器

図 5-28 に示すように主桁の前部下弦材を利用して水槽幅にわたって射水用のノズルが多数取付けられている。補助台車の床上に 2 台のポンプが設けられ、ポンプからこれらのノズルへ給水配管がなされている。補助台車は曳引車によって水槽北端より南端へ押し進められ、ノズルによる射水によって水槽表面に浮遊する微細なゴミ、パラフィンクス、油脂粒等を清掃しながらこれらを水槽南端に集める。水槽南端には、水面清掃用の排水溝 (長さ 18m) にほとんど水面に接する位置に設けられていて、この排水溝の端部はドレイ

表 5-8 水面掃除器の要目等

ノズル	ポンプ	ドレインポンプ
水面との傾斜角 45°	モーター 220 V 3φ 750 W	モーター 220 V 3φ 1.5 kw
ノズルから水面までの距離約 3 m	口径 1 1/4 B	口径 80 mmφ
噴口形状 90° の楔切込み	揚水量 59 l/min	揚水量 0.5 m ³ /min
水圧 1 kg/cm ²	揚程 35 m	揚程 4 m
水量 7 l/min	個数 2 台	個数 1 台
個数 16 台		

ンポンプに接続されている。水槽南端に集められた浮遊物汚水は排水溝に押しやられ、ドレインポンプによって屋外に排出される。水面掃除は毎朝実験前に行なわれるので作業操作一切が極めて簡単に行なえるようになっている。

ノズル、ポンプ、ドレインポンプの要目等は表 5-8 のとおりである。なお、ポンプの電源は曳引車より供給される。揚水は水槽水である。

5-17-10 電源、照明、床張り、塗色

電源は曳引車の補助台車給電用コンセントからケーブルで取るようになっており、補助台車上に分電盤が設けられている。分電盤は 1φ100 V 50 A であり 10 ケのコンセントと蛍光灯に接続されている。220 V のポンプ用電源は、曳引車の同専門コンセントからケーブルで取るようになっている。

照明は 40W と 20W の蛍光灯を使用し床上で 100 ルクスになるように、主桁上弦材に取付けられた。

床張りは図 5-28 に示す配置であり、床張り材等についての詳細は 5-10 の曳引車床張りと同様である。

塗装は 5-16 で示した曳引車の塗装と同様である。

5-18 試験成績

試験成績としては、製造者の社内における中間検査によるものと、完成時検査によるものがある。

5-18-1 中間検査

主なものを挙げるとつぎのとおりである。項目だけを記し、内容は省略する。(参考文献：浦賀重工 KK 提出の曳引台車および艀装品に関する検査成績書第 1 分冊 昭和 41 年 9 月)

5-18-1-1 材料試験(引張、硬度、屈曲、衝撃等)と化学組成分析

つぎの部品材料について行なった。

ギヤリム、ピニオン、車輪軸、十字型ボギー支持軸、車輪、ガイドローラ、ガイドローラ軸。

5-18-1-2 疲労試験(繰返し回転曲げ)

つぎの部品材料について行なった。

ガイドローラ軸、十字型ボギー支持軸、車輪軸、ピニオン、ギヤリム

5-18-1-3 摩耗試験

つぎの機構あるいは部分について行なった。

レールと車輪(転がり摩耗)

ガイドローラとレール(すべり摩耗)

ギヤとピニオン(転がり、すべり摩耗)

5-18-1-4 歯車検査

ギヤとピニオンについて主として累積ピッチ誤差を検査した。

5-18-1-5 駆動部構成部品の全般的な寸法検査

5-18-1-6 車輪焼入れ後の硬度試験

5-18-1-7 駆動部の組立て精度検査

車輪振れ、車輪平行度、ギヤ振れ、ピニオン振れ、歯当り、バックラッシュ、ボギーのピッチング、ヨーイングの動きうる大きさ等について調べた。

5-18-1-8 駆動部の無負荷運転試験

ステップ状に回転数を上げ下げしながら、異常音の有無、潤滑油のまわり具合、軸受部等の異常温度上昇の有無、振動の有無、回転数と電流の関係等について調べた。

5-18-1-9 球継手部の溶接検査

球継手部は 30 ケ所に対して 1 ケ所の割合で「カラーチェック」を行なった。

5-18-2 完成時検査

完成時検査は、組立て精度、撓み計測、重量計測等の静的検査と各構成部分の動作、機能の調査、振動測定、スリップ測定等の動的検査に大別される。以下この 2 つの種別に分け、詳しい内容については省略するが、代表的な項目とその主な結果を示す。

5-18-2-1 静的検査

(1) 駆動部の組立精度検査

主として、車輪の垂直度、平行度、ガイドローラとレールの間隔等について調べたが 5-6-4 に記した組立て精度内に納まった。計測用具は、ピアノ線、

マイクロメータ、厚さゲージ等である。

- (2) 計測器取付け用レールに集中荷重を搭載したときの撓み量

上記レールの中央部に 1 ton, 2 ton, 3 ton の集中荷重をのせ、荷重点の撓みをダイヤルゲージで計測したがその結果は、3 ton に対して 2.0 mm (設計予想値 2.75 mm) であった。

撓み計測についてはこの他に、計測部補助桁、補助台車においても行なったが、いずれも満足すべき状態であった。

- (3) 重量計測

抵抗試験用、あるいはプロペラ単独性能試験用動力計等の計測器取付け用レールに集中荷重となるような計測機器は搭載せず常備重量と考えている状態で重量計測を行なった。

計測方法はロードセル (計測精度 $\pm 3\%$) によるもので、曳引車の 4 隅を各個に持上げて計測を行なった。

その結果、1 駆動部当りにかかっている荷重はつぎのとおりであった。

東北部ボギー	13,509 kg
東南部 "	12,222 "
西北部 "	13,693 "
西南部 "	12,866 "

一番重い個所と、一番軽い個所の荷重差は 1,471 kg (設計予想値 771 kg)、曳引車常備重量は 52,290 kg (目標値約 50 トン) であった。

この結果にもとずき重心位置を求めると、曳引車中心よりそれぞれ西側へ 0.084 m、後方へ 0.296 m (設計予想値西側へ 0.19 m、後方へ 0.04 m) となった。

- (4) 曳引車の前後方向の中心線についてのチェック。

規準レール (東側) の頭部側面 (ガイドローラが接する面) をもとにして、曳引車の前端と後端のそれぞれの中央部にマークされている組立て規準の中

心線を規準尺でチェックした結果、前端と後端における計測値の差は 0.1 mm であった。

- (5) 計測器取付け用レールの諸精度

水平度：レールの側に水準溝を設け、この水面とマイクロメータを使用して計測した。その結果は最高点と最低点の差は 0.43 mm であった。

真直度：ピアノ線と規準尺によって計測した。凹凸の最大差は 0.2 mm であった。

平行度：本レールは曳引車縦中心線から両側等距離の位置に配置されるので、計測は、曳引車縦中心線から本レールの内面までの距離を規準尺で測定した。

距離の最大差は 0.2 mm であった。

同様の調査は、操縦性能試験用計測レールについても行なったが、満足すべき状態であった。

5-18-2-2 動的検査

- (1) スリップ試験

乾いた布でレール頂面を拭いてから行なった。その結果の例を表 5-9 に示す。

車輪の番号は東側、西側とも北から南へ 1~4 とつけた。

スリップ量には、駆動電流の投入時のオーバシュートによるものも含まれていると思われる。上記のオーバシュートの量は設定トルクの 5~10% であったが、その後の改良により現在はこのオーバシュートは殆んどない。

- (2) 滑走試験

走行抵抗を求めるために行なった。結果は表 5-10 のとおりであった。

- (3) 走行中の振動計測

アスカニヤ振動計を用いて走行中の曳引車の振動を計測した。その結果の 1 例を表 5-11 に示す。

- (4) 強制制動試験

空気溜容量のチェックとして、連続 5 回使用後の空

表 5-9 スリップ試験結果

(単位：mm)

設定加速トルク (%)	加速度 (g)	初速度 (m/s)	東 側 車 輪				西 側 車 輪			
			1	2	3	4	1	2	3	4
70.2	0.06	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0
84.0	0.07	—	1.0	1.0	4.5	5.5	2.5	2.5	0	0
101.5	0.08	—	10.7	10.5	63.0	62.5	3.5	3.5	0	0
112.0	0.09	—	36.0	36.0	458.5	458.5	3.5	3.5	1.5	1.5

表 5-10 滑走試験結果

速 度 (m/s)		滑 走		減 速 度 (g)	進 行 方 向
初 速	終 速	距 離 (m)	時 間 (sec)		
2.58	0	75.38	64.8	0.00406	南 進
2.58	0	77.1	62.8	0.00411	北 進
6.10	2.315	250	62.0	0.00623	"
6.21	2.79	230	54.6	0.00637	南 進

表 5-11 走行中の振動計測結果

計 測 個 所	曳引車中央部計測器取付け用レール上										
	南 進										
曳引車進行方向	南 進										
曳引車速度 (m/sec)	0.3	0.5	1	2	3	4.5	6	8	10	12.5	
振 動 方 向	上 下										
振 動 数 (Hz)	0	0	0	—	—	13	12	19	10	20	
	0	0	0	—	—	0.03	0.02	0.03	0.07	0.08	
振 動 幅 (mm)											

表 5-12 強制制動試験結果

速 度 (m/sec)	設 定 減 速 度		停 止 ま で の		減 速 度 (g)	進 行 方 向
	(g)	空 気 圧 力 (kg/cm ²)	距 離 (m)	時 間 (sec)		
1.025	0.25	5.78	1.85	2.2	0.09	南 進
3.08	"	"	6.45	3.2	0.14	北 "
4.63	"	"	13.2	4.2	0.15	南 "
6.21	"	"	23.46	5.8	0.16	北 "
8	"	"	39.1	7.2	0.15	南 "
10	"	"	49.35	8.8	0.15	南 "

気圧力を計測した結果、5.7 kg/cm²であり最低作動圧力の 5.5 kg/cm² を確かに上まわっていた。また入れ込み、切り放し各圧力も確認した。また本制動装置に関連した各種のインターロック回路の作動を確認した。本試験の結果の1例を表 5-12 に示す。なお、上記試験は、強制制動だけを作動させたものである。減速度は加速度計を使用して計測した。

上表からわかるとおり、本試験時では、かなり制動力が不足していた。制動シリンダーの出力は計画値に近い出力を出していたのでこの原因は摩擦係数の不足によるものと思われた。そこで制動シューを摩擦係数の高いものにとりかえるとともに、制動シリンダー出力も安全限界内で増圧した。シューの“当り”、“なじみ”がよくなった現時点では殆んど設計減速度に近い制動力を得ている。

(6) 非常制動試験

本試験は速度 5.8 m/sec までの速度範囲で行なわれた。試験結果の1例を表 5-13 に示す。

表 5-13 非常制動試験結果

速 度 (m/sec)	停 止 ま で の		水 圧 抵 抗 力 (kg)	減 速 度 (g)
	距 離 (m)	時 間 (sec)		
3.05	14.46	8.3	852	0.09
4.63	23.38	10.6	1,953	0.12
5.8	28.59	10.2	3,500	0.16

この表中、水の抵抗力は非常制動シリンダー内の水圧を計測して求めた値であり、東西両シリンダーの水圧の平均値である。減速度は曳引車に加速度計を取付けて計測した値であり、この減速度の中にはスプリング制動による減速度が含まれている。なお、水の抵抗力と減速度は制動作動初期のピーク値を除く定常値である。

5.8 m/sec までのデータをもとにして、15 m/sec までの減速性能をアナログ計算機を用いて計算した結果、進入速度 15 m/sec のとき、減速度は定常値とし

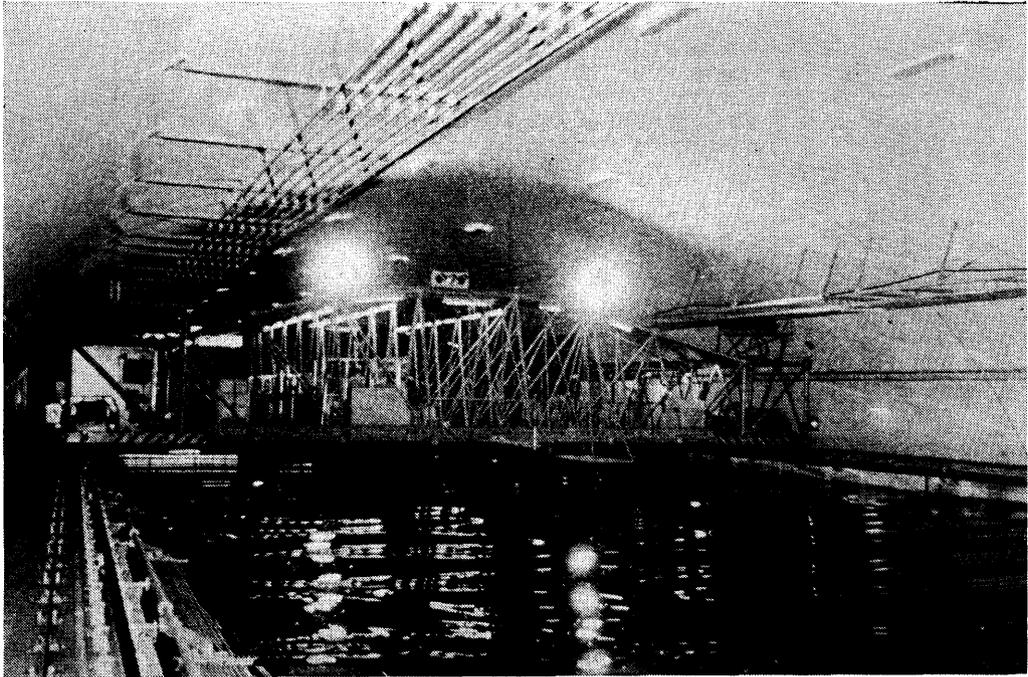


写真 5-7 曳引車 外観

て 0.44 g が作用し 29 m で停止することが確かめられた。

なお、進入速度 15 m/sec のとき、ワイヤロープには初期のピーク値として 11.5 ton の引張力がかかるが、ワイヤロープの破断荷重は 34.5 ton であるから強度上からも問題がないことを確かめた。

(7) スプリング制動試験

試験結果の 1 例を表 5-14 に示す。

減速度の計測は、他の制動試験における場合と同様である。

完成した曳引車の外観(南より見る)を写真 5-7 に示す。

表 5-14 スプリング制動試験結果

速 度 (m/sec)	停止までの		減速度 (g)
	距 離 (m)	時 間 (sec)	
2.05	8.06	6.8	0.04
4.63	35.53	14.4	0.04
6.0	59.0	18.6	0.04

6. 動力装置および曳引車速度制御装置

6-1 受変電設備

本試験水槽で使用する電力は所内中央変電所から地
(160)

下ケーブルにより 3.3KV で配電される。水槽棟北端地下の主動力室に 2,000 KVA の受変電設備があり、曳引車走行用、模型製作工場用、水槽棟北部および研究棟用の電力を供給する。水槽棟南端の造波装置機械室には 500 KVA の受変電設備があり、造波装置用電力および水槽棟南部用電力を供給する。曳引車走行用電力をワード・レオナード方式で供給する場合は負荷継続時間が非常に短いので、ワード・レオナード発電機駆動用誘導電動機はほとんどの時間無負荷運転となり、受電設備の電力力率が悪化する。このため、通常は進相コンデンサを設置して力率の改善をはかるが、所内中央変電所が力率の集中管理をしているので本試験水槽では進相コンデンサを設置しなかった。停電のとき動力用電源はしゃ断して停電回復時の動力の再起動を防止したが、一般用電源は即時回復するように主回路しゃ断器はコンデンサトリップとし、その変圧器をパワーフェーズで保護した。

6-1-1 水槽棟北端主動力室受変電設備

図 6-1 の単線図に示される機器が水槽棟北端主動力室に設置されている。その主なものは 2,000 KVA の受電盤、曳引車走行用の 750 V, 480 KW の直流発電機 2 基とこれを駆動する 3.3KV, 1,200 KW の誘導電動機、直流発電機保護用のしゃ断容量 50 KA の直

流回路しゃ断器である。そのほか 1,200 KW の誘導電動機の起動時における幹線へのじょう乱を軽減するために、補償起動方式を採用したので、電動機主回路しゃ断器とともに起動補償用しゃ断器および起動用変圧器がある。さらに模型製作工場等の動力用電源として 3

相, 3.3 KV : 220 V, 500 KVA の変圧器が設置され、模型製作工場, 曳引車(補助用), 給排水設備, 暖房機等に使用される。水槽棟北部, 工場棟および研究棟の一般用電源として, 3.3 KV : 110/220V, 200 KVA の単相 3 線式変圧器が設置され, 計算機用電源としては 3.3

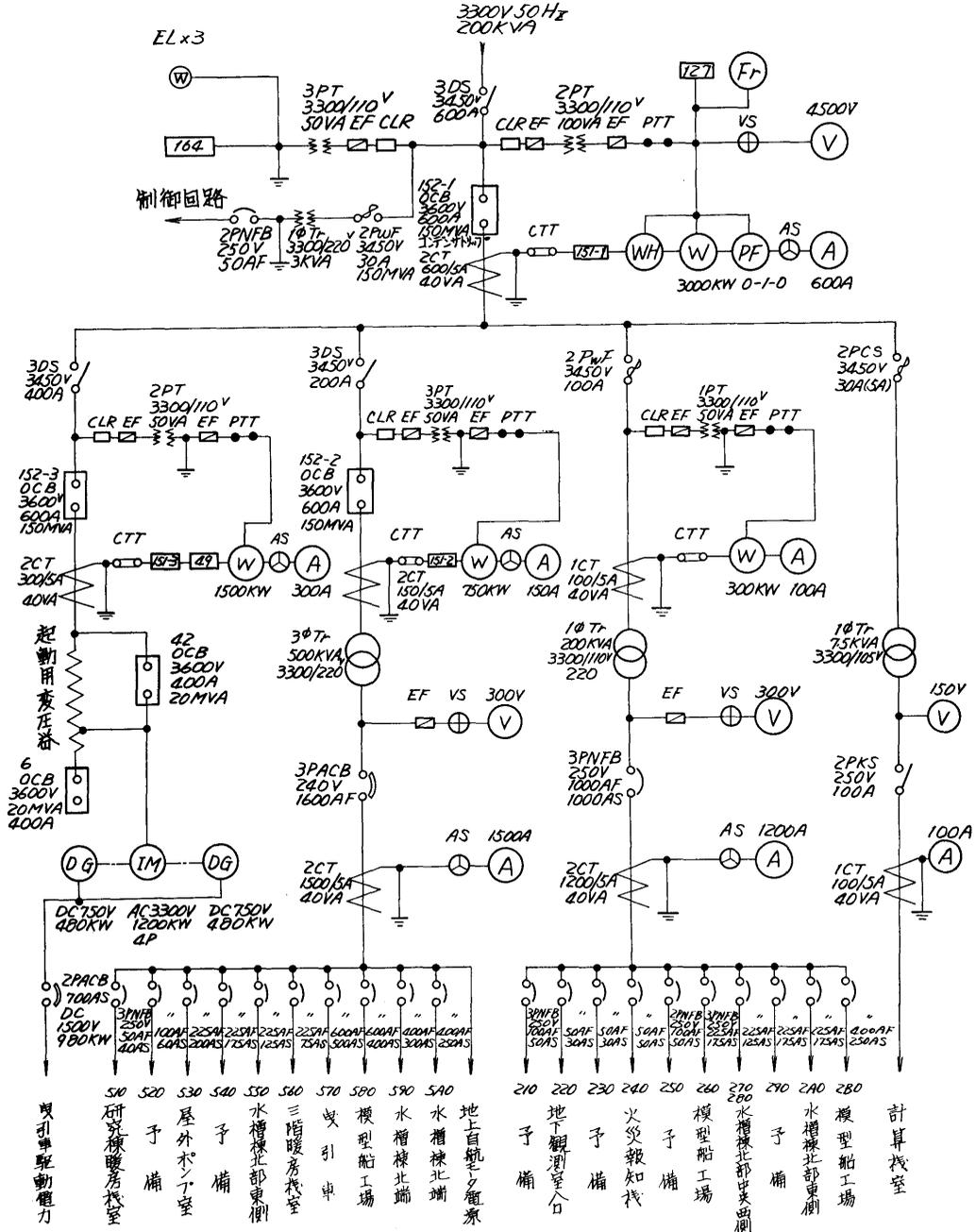


図 6-1 水槽棟北部動力室変電設備単線図

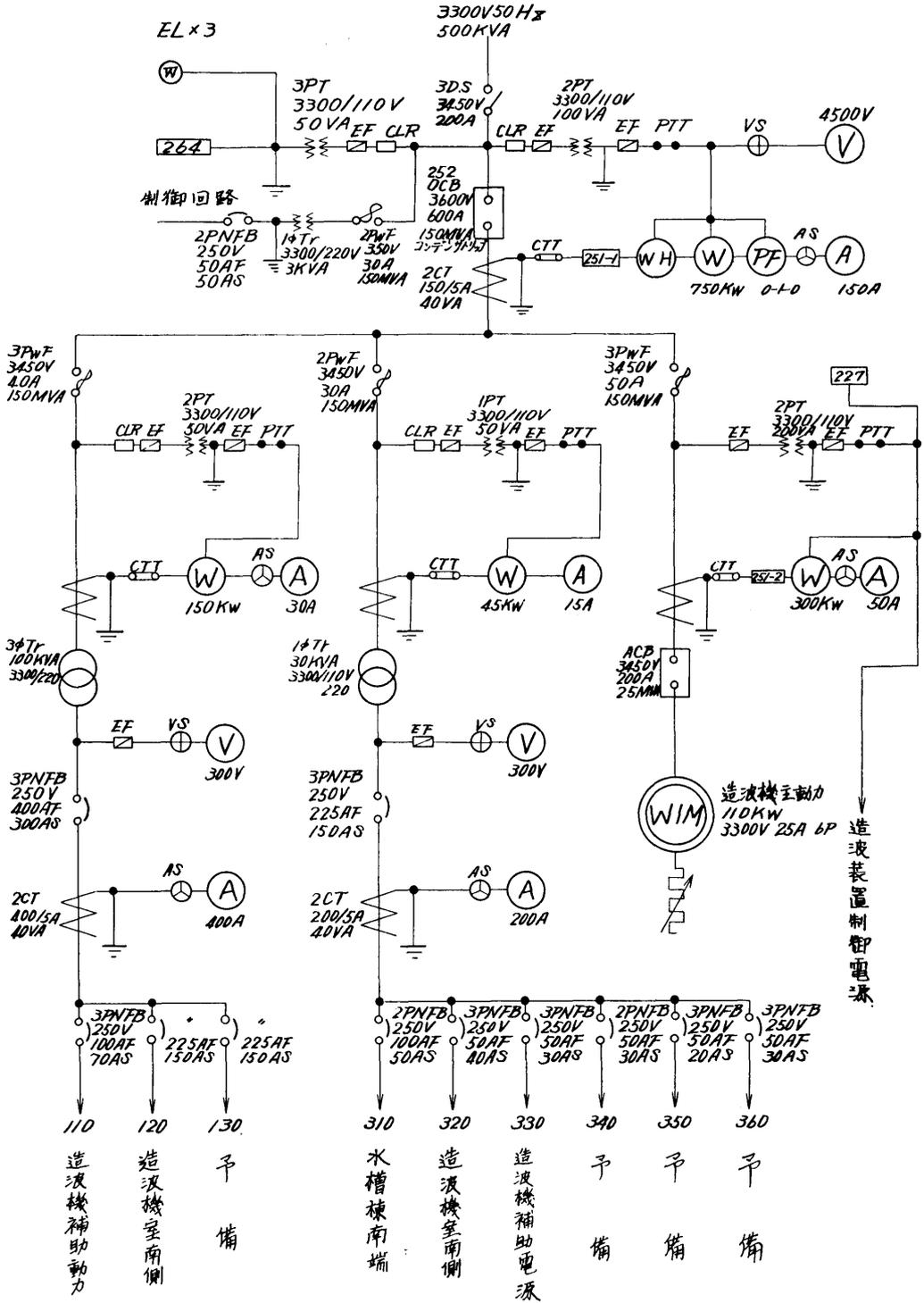


图 6-2 造波装置機械室受變電設備單線圖

KV : 105 V, 7.5 KVA の単相変圧器が、工場等よりの電源じょう乱を軽減するために、一般電源とは別に設置されている。

6-1-2 造波装置機械室受変電設備

図 6-2 の単線図に示される機器が水槽棟南端の造波装置機械室の一隅に設置されている。その主なものは 500 KVA の受電盤、造波装置主動力用の 110 KW 巻線起動型誘導電動機、同上用主回路気中しゃ断器および起動機である。また、水槽棟南部動力用として 3 相 3.3 KV : 220 V, 100 KVA の変圧器が設置され、水槽棟南部暖房機、水槽棟南端のホイストおよび造波装置補助動力等に使用される。水槽棟南部の一般用としては 3.3 KV : 110/220 V, 30 KVA の単相 3 線式変圧器が設置され、一般用のほか造波装置制御用としても使用される。

6-1-3 曳引車補助電力

曳引車補助電力は曳引車上の照明、計測器、計算機および曳引車の速度制御装置用等の電力である。当初は 220 V の工場用動力線からそのままトロリー線を介して曳引車に送電する予定であった。しかし付録 A3-1 に示すようにトロリー線による電圧降下が大きく、曳引車が水槽を移動する位置によって電圧変動が大きいたことが予想されたので、別個の変圧器で 220 V を 600 V に昇圧してトロリー線に送電することとした。したがって曳引車上にも 3 相 210 V, 60 KVA および 3 相 105 V, 50 KVA の変圧器を搭載して 3 相 200 V, および単相 100 V を得るようにした。なお、トロリー線の電圧が高いほど電圧変動は小さくなるが、これを 600 V に選んだ理由は市販の低圧用電気器具の規格が最高 600 V となっており、また 600 V に昇圧すれば電圧変動を許容値に押えることができたためである。

6-2 曳引車走行用動力

水槽用曳引車の定速走行中は、ほぼ理想的に平坦に敷設された走行用レールの上を等速度で走行するので走行抵抗は非常に小さい。また風圧抵抗等が問題となる速度は主として 10 m/sec 以上であり、本曳引車の風圧抵抗値は、模型の風洞試験結果によると、15 m/sec の速度で約 610 kg と推定される。しかし曳引車を加速する場合の動力はこの風圧抵抗等に打ち勝つための動力と、曳引車の加速に要する動力の和であり、15 m/sec の速度まで加速する場合 (0.1 g) には後者は前者の約 7 倍である。

6-2-1 曳引車の車輪とレールの摩擦係数

曳引車が加減速するときに車輪がレールを滑らない

条件は次式で示される。

$$\mu W_c > \left| \alpha \frac{W_c}{g} + (R_w + R_r) \right| \quad (6-1)$$

ここで μ は曳引車車輪とレールの間の摩擦係数、 W_c は曳引車の重量 (kg)、 α は曳引車の加速度 (m/sec^2) (加速の場合は正、減速の場合は負となる)、 g は重力の加速度 ($9.8 \text{ m}/\text{sec}^2$)、 R_w は曳引車の風圧抵抗と曳引模型の抵抗の和 (kg)、 R_r は曳引車の転動摩擦抵抗 (kg) である。曳引車の重心が曳引車の中央にないと車輪によって重量の配分が異なる。もし、箇々の車輪のトルクが均一であるとすると重量分担の軽い車輪は他の車輪より小さい加速度でスリップし、この車輪は以後加速にほとんど寄与しないので、曳引車はこの加速度より大きい加速度で加速することはできない。したがって、ゴムタイヤ、ワイヤドライブ等の特殊な方法によらないで曳引車の加速度を大きくするには、全車輪を駆動輪とし、しかも各車輪の分担する曳引車重量をなるべく均一にする必要がある。

曳引車の加速中の運動方程式は次式で表わされる。

$$F = F_c - \alpha \frac{W_I}{g} = \alpha \frac{W_c}{g} + R_w + R_r \quad (6-2)$$

ここで F は車輪とレールの間に働く水平力 (kg)、 F_c は駆動機のトルクを車輪の周囲の水平力に換算した力 (kg)、 W_I は駆動用回転系の回転モーメントを曳引車の重量に換算した値 (kg) とし、 α 、 g 、 W_c 、 R_w および R_r は (6-1) 式で定義されたものと同一とする。

(6-2) 式から

$$F_c = \alpha \frac{W_I + W_c}{g} + R_w + R_r \quad (6-3)$$

および

$$F_c = F + \alpha \frac{W_I}{g} \quad (6-4)$$

を得る。

曳引車の速度の増加につれて R_w が増加し、駆動機のトルクは一定となるように制御されていて F_c が一定であるとする、(6-3) 式により加速度 α が減少する。また (6-4) 式により F も増加する。しかし最高速度において R_w が F_c の 10% 程度とすれば高速時の α は低速のときより 10% 程度減少する。また W_I を W_c の 10% 程度とすれば F の増加は 1% 程度である。したがって駆動機のトルクを一定になるように制御すれば車輪とレールの間に働く水平力はほぼ一定となる。なお、駆動機のトルクの制御精度も通常的方式では 1% 内外であることが多い。以後の説明で W_c' は W_c と W_I の和を示すものとする。

6-2-2 曳引車の駆動動力

曳引車の最大駆動動力 $P_{o\max}$ (watt) は曳引車が最大加速度で加速し、最高速度に達する瞬間のみに消費される。その値は次式で表わされる。

$$P_{o\max} = V_{o\max} \left\{ \alpha \frac{W_o'}{g} - (R_w + R_r) \right\} g$$

$$\leq V_{o\max} \cdot W_o' \cdot \mu \cdot g \quad (6-5)$$

ここで、 $V_{o\max}$ は曳引車の最高速度 (m/sec) である。曳引車の定速走行時の所要動力は、(6-5) 式の α が 0 になるので、最大駆動動力より大幅に減少する。減速時に曳引車の運動エネルギーを何らかの形で吸収せねばならないが、たとえば駆動モータにより電力回生制動を行なうとエネルギーの損失を少くしうる。減速時の駆動モータの吸収トルクと加速時の発生トルクの絶対値が相等しければ、風圧抵抗等は減速を助けるので、結果として減速度は加速度に比べてやや大きくなる。したがって、駆動機としては下記の特性を有する一定電流で励磁された直流分巻モータを使用することが適当であると考えた。

- (1) 電機子電流の方向が変わると駆動モータは発電機となってトルクを吸収し、容易に回生制動をかけることができる。
- (2) 電機子電流が一定となるように制御すると回転速度にほぼ無関係に駆動トルクまたは吸収トルクの値が一定となる。
- (3) 電機子電圧を制御することによって、回転速度の制御が可能である。

なお、本曳引車では駆動輪は 8 個、駆動モータは 4 台で駆動モータ 1 台に対して車輪 2 個が結合され、曳引車重量は両車輪に等分に分配されるようにしてある

(5-6-2 参照)。4 台の駆動モータの各界磁を直列に接続して電機子電源とは別個のサイリスタ方式の直流定電流電源により励磁し、また、各電機子も直列に接続して個々のモータの駆動トルクおよび吸収トルクの均一化をはかっている。駆動モータの電機子電源にはワード・レオナード方式を採用した。この理由は減速時に電機子電流を反転させて回生制動を行なうことが容易であり、また、この曳引車の設計当時(昭和 39 年)、半導体による静止レオナード方式に多少の危惧が持たれたからである。

本曳引車の駆動動力は、 $V_{\max}=15$ m/sec, $\mu=0.1$ (文献 (13) 参照), $W_o=50,000$ kg, $W_r=5,000$ kg とすると $P_{\max}=V_{\max} \cdot W_o' \cdot \mu \cdot g=808,500$ (watt) とする。

6-2-3 駆動モータの定格

水槽曳引車に使用する駆動機が最大出力を出す時間は瞬時である。また最大トルクを継続する時間もきわめてわずかで、本水槽曳引車が最高速で走行する場合でも約 31 秒である (付録 A-3-3 参照)。したがって、モータ定格については通常の呼称とは異なった考え方をする必要がある。一般にモータには大きさを示す枠番号があり駆動モータの回転速度、最大トルクの継続時間および繰返し時間間隔が与えられればこれに適する最小の枠番号が定まる。曳引車は停止および低速走行の時間が長い、モータの界磁電流を常時流している、これより発生する熱をモータ軸に固定したファンだけで完全に冷却することができず、通常はモータの熱容量を大きくするために、1 段階大きい枠が使用される。しかし本水槽曳引車の駆動モータは、別の補助モータ付ファンで冷却を行なうことにより、枠番号を上げる必要がなくなったので寸法および重量を減

表 6-1 駆動用動力装置一覧表

	曳引車駆動モータ	直 流 発 電 機	発電機駆動用誘導モータ
台 数	4 台 (直列)	2 台 (直列)	1 台
形 式	閉鎖形直流分巻	閉鎖形直流分巻	閉鎖交流誘導かご形
冷 却 方 式	強制通風	自己通風	自己通風
定 格 出 力	210 kw (1 台につき)	480 kw (1 台につき)	1,200 kw
定 格 回 転 数	1,800 rpm	1,460 rpm	1,460 rpm
定 格 時 間	60 秒 (10 分毎)	60 秒 (10 分毎)	1 秒 (10 分毎)
電 機 子 電 圧	360 V (1 台につき)	750 V (1 台につき)	(電源電圧 3,300 V)
絶 縁	B 種	B 種	B 種
界 磁	他 励	他 励	—
付 属 品	冷却用電動送風機	—	補償起動用設備および電源しゃ断設備

らすことができた。

直流モータは回転速度が高い程（4~5,000 rpm 迄）小型軽量となるが、歯車等を用いた減速装置が必要となる。しかし速度制御上は、歯車のバックラッシュによる不感帯を小さくするために歯車減速はせいぜい1段程度に止める必要がある。駆動車輪の直径は強度上からは大きいことが望ましく、1段減速歯車の取り得る減速比にも限度があるので、この面からは駆動モータの回転速度をあまり高くすることはできない。以上のことを考慮した結果駆動モータおよびワード・レオナード電動発電機の仕様を表6-1のように決定した。なお電機子電圧の決定に関しては6-3-1を参照されたい。写真6-1に曳引車駆動モータ、写真6-2に曳引車駆動用ワード・レオナード電動発電機を示す。

6-3 曳引車速度制御系の仕様

曳引車速度制御系の応答速度はできるだけ速いことが望ましいので、系の各構成要素に対して検討を加え、各々の時定数ができるだけ小さくなるようにした。その結果、速度制御系のしゃ断周波数は約 3 Hz となった。また速度安定度についても検討を加え、実用上満

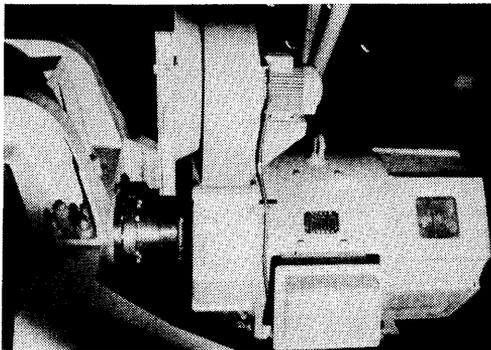


写真 6-1 曳引車駆動用モータ

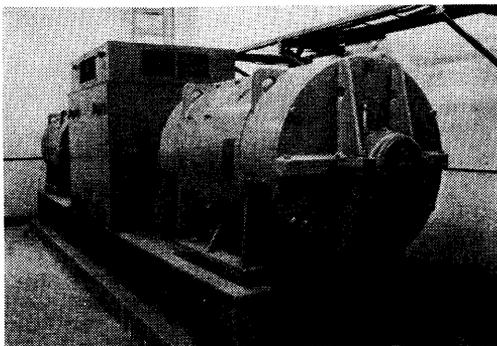
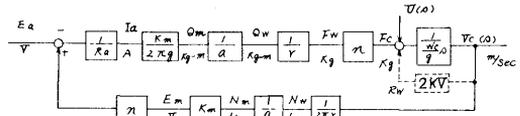


写真 6-2 曳引車駆動用ワード・レオナード電動発電機



- R_a : 電機子回路抵抗 (0.365 Ω)
 - K_m : モータの電動機定数 (1.2 V/dec)
 - g : 空转の加速度 9.8 m/sec²
 - a : モータ車輪への減速比 (1/6)
 - r : 車輪の半径 (0.475 m 半径)
 - n : モータの台数 (4 台)
 - $U(s)$: 曳引車の走行抵抗外力 (kg)
 - W_c : 曳引車の重量 (55,000 kg)
 - A : テラパス演算子
 - E_a : 発電機の発生電圧 (V)
 - I_a : 電機子回路電流 (A)
 - Q : モータのトルク ($kg-m$)
 - Q_w : 車輪のトルク ($kg-m$)
 - F_w : 車輪の水平力 (kg)
 - F_c : 曳引車水平力 (kg)
 - $V_c(s)$: 曳引車の速度 (m/sec)
 - N_w : 車輪の回転速度 (1/sec)
 - E_m : モータの逆起電圧 (V)
 - R_w : 風圧抵抗 (kg)
- 破線に關しは附録 A-3-2 参照

図 6-3 曳引車駆動系のブロック線図

足すべき仕様を得た。

6-3-1 曳引車時定数の構成

図6-3に曳引車の駆動系のブロック線図を示した。ここで破線で示した部分は高速時のもので、低速時はこれを省略することができる。曳引車の低速時の時定数 T_c は次式で示される。ただし破線の部分は含まれないものとする。

$$T_c = \left(\frac{2\pi r a}{n k_m} \right)^2 \cdot W_c' \cdot R_a = \left(\frac{V_c}{n E_m} \right)^2 \cdot W_c' \cdot R_a \tag{6-6}$$

ここで、各記号は図6-3に含まれている。

上式から、曳引車の時定数は曳引車速度 V_c の駆動モータの逆起電圧の総和 nE_m に対する比の2乗に比例することがわかる。電機子回路抵抗 R_a は駆動モータおよび発電機の電機子回路抵抗およびトロリー線の太さと長さで決定される。曳引車重量 W_c は搭載物の増加によって当初の計画値を上まわることが多い（目白第1水槽 15t→17.7t, 本曳引車 50t→52.3t）。しかし、最高速度のときの駆動モータの電機子の電圧を高くすることは当初容易に計画でき、しかも他の要素より時定数減小に対し効果的である。以上のことを考慮した結果、曳引車の時定数は設計時点において2.2秒、完成後の実測値で約2.1秒となった。

6-3-2 外乱に対する曳引車の応答

図6-3の $U(s)$ を走行抵抗の外乱とすると曳引車の速度の応答 $V_c(s)$ は次式で示される。ただし E_a は一定とする。

$$V_c(s) = \frac{g}{W_c'} \cdot \frac{T_c}{1 + T_c s} \cdot U(s)$$

ゆえに外乱がたとえば曳引車上での人の移動等である

ときは、曳引車速度に対する影響は曳引車重量が大きい程小さく、時定数が大きい程大きい。外乱が進行方向に対するレールの傾斜による場合は、その傾斜角 θ が突然零から θ_0 に変化したときは

$$U(s) = \frac{1}{s} W_0 \sin \theta_0$$

$$V_0(s) = \frac{1}{s} g \sin \theta_0 \frac{T_0}{1 + T_0 s} \quad \therefore \lim_{t \rightarrow \infty} V_0(s) = T_0 g \sin \theta_0$$

$$\frac{d}{dt} V_0(s) = \frac{1}{s} g \sin \theta_0 \frac{T_0 s}{1 + T_0 s} \quad \therefore \lim_{t \rightarrow 0} \frac{dV_0(s)}{dt} = g \sin \theta_0$$

となり、曳引車速度の最終値はレールの傾斜角 θ_0 と曳引車の時定数 T_0 に比例する。曳引車の加速度の初期値はレールの傾斜角 θ_0 のみ比例し時定数には無関係となる。高速走行時においては風圧抵抗が増加するために曳引車の時定数は低速走行時よりも減少する。しかし付録 A-3-2 によると、曳引車が 15 m/sec で走行する場合の時定数でも、低速走行時に比べてわずかに 3% 減少する程度である。したがってこの影響による速度制御系への影響はほとんど無視できる。

6-3-3 発電機の時定数

発電機の時定数は界磁インダクタンスと界磁回路抵抗の比に等しい。また界磁の強さは界磁コイルの巻数と界磁電流の積にほぼ比例し、界磁インダクタンスはほぼ界磁コイルの巻数の 2 乗に比例する。したがって界磁コイルの巻回数をへらして界磁電流を大きくし、さらに界磁回路抵抗を高くして界磁電源電圧を高くした。以上の結果、レオナード発電機の界磁の計画時定数は発電機を 2 台直列に接続して 1.2 秒であった。

6-3-4 速度の安定度および速度の設定精度

文献(14)より導いた表 6-2 によると、同一曳引車速度で、駆動車輪と速度検出用パルス発生機との間の増速比をかえることにより、サンプル間隔を変えても速度の標準偏差はほとんど変化しない。また低速域では曳引車の速度が異なっても mm/sec で表わした速度の標準偏差はほとんど変化しない。高速域の速度の標準偏差が大きいのは解析されたデータに速度整定以前の現象を含んでいるからであろう。また文献(14)記載の曳引車速度変動のパワースペクトラムには駆動車輪の回転周期に等しい所に大きなピークがあったが、これは駆動モータと駆動車軸の間の歯車の平行度が悪いため、駆動モータが不整回転を行っていたものと考えられる。したがって表 6-2 の曳引車速度の標準偏差には駆動モータの不整回転による速度変動分が含まれている。以上のことから速度検出用に直径の小さい車輪を特設し、速度検出用パルス発生機を共通の軸に直結

表 6-2 速度、サンプル時間と標準偏差の関係

速度 (m/sec)	増速比*	サンプル時間 (m sec)	速度の標準偏差 (%)	速度の標準偏差 (mm/sec)
1	68 : 1	51.6	0.219	2.19
1	17 : 1	206.4	0.222	2.22
2	17 : 1	103.2	0.101	2.02
3	17 : 1	154.8	0.07	2.1
4	17 : 1	103.2	0.121	4.8
5	17 : 1	82.56	0.18	9

* 速度パルス発生器と駆動車輪の間の増速比

表 6-3 速度制御装置の仕様

	低 速	高 速
速度設定範囲	200 mm/sec ~ 5,999 mm/sec	6,000 mm/sec ~ 14,999 mm/sec
速度設定ステップ	1 mm/sec	5 mm/sec (1 mm/sec) ⁽⁵⁾
速度設定精度	±1 mm/sec	±5 mm/sec
速度安定度 ⁽¹⁾	1 mm/sec, r.m.s.	5 mm/sec, r.m.s.
応答時間 ⁽²⁾	2 sec 以下	2 sec 以下
残留加速度 ⁽³⁾	±1 × 10 ⁻⁵ g 以下	±5 × 10 ⁻⁵ g 以下
速度整定時間 ⁽⁴⁾	2.5 sec 以下	2.5 sec 以下
オーバーシュート	0 mm/s	0 mm/s

(1) 曳引車速度偏差の 2 乗平均値

(2) 定速走行時に曳引車にステップ状の 10 kg の走行抵抗外乱が加わったときから、残留加速度が表記以下になるまでの時間

(3) 定速走行時に許容される加速度

(4) 定速度投入装置が作動してから曳引車の残留加速度が表記の値以下になるまでの時間

(5) 括弧内は完成した同装置の値

することとし、上記の影響をさけるようにした。なお速度検出用車輪の不整回転による速度制御系への悪影響を防ぐために、この車輪の直径をできるだけ小さくして、なるべく速度制御系のしゃ断周波数以上で回転するようにした。

近来電子計算機と造波抵抗理論が発展し、理論計算値と実験値を比較するために走行速度が厳密に指定され、高精度の速度設定が要求されることが多くなった。このためにデジタル積分制御を加えて、速度設定精度を改善した。また模型船の抵抗試験の際、曳引車の残留加速度は抵抗計測値に誤差を生ずるので、抵抗試験の要求精度から残留加速度の値を表6-3のように決定した。

6-3-5 速度制御装置の仕様

速度制御方式として文献(14)、文献(15)と同様のデジタル速度制御方式に前項の諸方式を併用すれば、文献(14)の曳引車速度の安定度および設定精度を改善し得ると考え、表6-3の仕様を決定した。

本曳引車は最低速度から最高速度までの速度範囲が広く、その比は1:75にもおよび、速度に応じて使用目的も多少異なるので、速度範囲を低速と高速の2つに分けた。低速範囲は主として排水量型船型実験用とし、速度安定度および速度設定精度に重点をおき、高速範囲では高速を利用するため応答性に重点をおき、速度安定度および速度設定精度が多少悪くなることを許容した。

6-4 速度制御装置の詳細

速度制御装置は大別してデジタル速度制御演算装置とアナログ速度制御装置に分かれる。デジタル速度制御装置は速度を設定する信号と曳引車の速度とを比較して速度偏差のアナログ信号を作る。アナログ速度制御装置はこの信号を受けてワード・レオナード発電機を制御し速度を一定に保つ。デジタル速度制御演算装置は定速度投入のための制御を行ない、アナログ速度制御装置は、起動時の定トルク制御も行なっている。なお予備用として、アナログ速度制御装置のみによる速度制御も可能である。またアナログ速度制御装置の故障のときは、手動速度制御により運転が可能である。

6-4-1 共通部門

曳引車の起動、停止および走行方向の選択等はすべて曳引車上の運転操作盤で行なうことができる。図6-4に示すように、駆動モータ電機子回路には単極の電磁接触器があり、曳引車の起動停止の際にはこの電

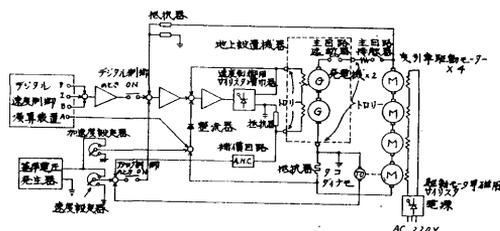


図 6-4 アナログ速度制御装置ブロック線図

磁接触器で主回路を開閉する。駆動モータ電機子はこの電磁接触器から断面積 170 mm² のトロリー線を通じて水槽北部動力室内の直流回路の気中しゃ断器、さらに発電機の電機子へ接続される。電磁接触器はしゃ断容量が小さいので駆動モータ電機子回路の保護は気中しゃ断器で行なっている。

発電機の界磁には断面積 50 mm² のトロリーを通して曳引車上の速度制御用のサイリスタ増幅器の出力が接続される。サイリスタ増幅器は出力電流の方向が可逆となるように結線されている。これは曳引車が回生制動で停止する直前の発電機の発生電圧を定速走行時の逆方向にする必要があるからである。サイリスタ増幅器のサイリスタの点弧角の制御にツーロン回路を用い、この回路には抵抗器またはトランジスタを使用した。

曳引車が起動する際に走行ボタンを押すと電磁接触器が投入され、サイリスタ増幅器が動作するので曳引車は走行する。停止ボタンを押すときには電磁接触器はすぐには動作せず、駆動モータの逆起電圧が零になったときに始めて電磁接触器が動作して主回路を開く。

駆動モータ界磁は曳引車上の駆動モータ界磁用のサイリスタ電源 (150~350 V, 16 A) によって自動的に定電流で常時励磁される。

トランジスタ類のほとんどはシリコントランジスタであって熱による破壊やドリフトを軽減している。

6-4-2 デジタル速度制御演算装置

デジタル速度制御演算装置は、曳引車に固定された速度検出用車輪に光電式パルス発生機を直結して、これにより曳引車速度に比例した周波数のパルスが発生させ、これを設定速度の補数がプリセットされたデジタルカウンタで一定時間計数するとデジタルカウンタの値はそのときの速度偏差を示す。この値をアナログ電圧に変換 (DA変換) してアナログ速度制御装置に速度偏差電圧として加える方式である。この方式によって回転計発電機から発生する雑音で初段増幅

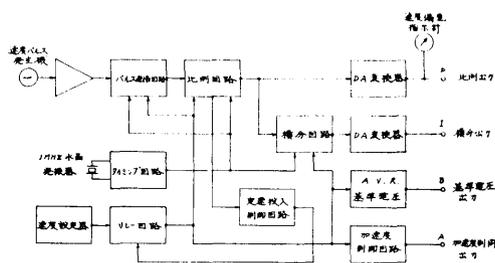


図 6-5 デジタル速度制御演算装置ブロック線図

器が飽和するおそれなしにループゲインを高くすることができた。図 6-5 にデジタル速度制御演算装置のブロック線図を示す。

速度検出車輪は曳引車の西側縦桁の空調室の床下に設置された直径 95.49 mm の車輪で、自重および付加重量（合計約 10 kg）で駆動車輪と同じ走行レールに圧着されて回転する。この軸には一周 750 個のスリットを持った円板が結合され、これの回転速度を光電的にパルスに変換して 1 m の走行に対して 2,500 個の、パルスが得られる。このパルスを増幅、整形してパルス通信回路で 16 倍に通倍し、クロックパルスに同期させ、比例回路にみちびく。クロックパルスは 1MHz で水晶発振器から発生させる。このクロックパルスをタイミング回路で分周して 25 msec 幅のゲート信号を作る。比例回路は 15,000 bit の容量のあるプリセットカウンタであって、各ゲート信号ごとに mm/sec 単位で表わされた設定速度の補数がプリセットされ、パルスを 25 msec のあいだゲートを通してプリセットカウンタで計数する。もし曳引車の速度が設定速度に等しくなれば、25 msec 後にゲートを閉じたときのプリセットカウンタの値は零となり、もし過不足があれば 1 mm/sec について 1 bit の過不足を生じる。このプリセットカウンタの下 2 桁（10進）のみを D/A 変換器でアナログ電圧に変換すれば、速度偏差が +9.9 mm/sec ~ -100 mm/sec の範囲内であれば速度偏差に比例した電圧を得ることができる（これを比例出力という）。しかし、速度偏差がこの範囲外のときは D/A 変換機の出力は飽和するようにしてある。（この範囲のことをリニア・バンドということにする。）ゲートを閉じてカウンタをリセットしてから再びゲートを開くまでの間に速度パルスがきても、これを一時別のレジスタに貯えて次のピリオドにカウンタに加算するので、速度の検出は常時連続に行なわれる。

デジタル速度制御演算装置を投入するときは曳引車の速度がリニアバンド内に入るようにしなければならない。このため駆動モータの電機子電圧を制御する定電圧装置がアナログ速度制御装置に含まれている。この定電圧装置の設定電圧を曳引車の設定速度に応じて 20 mm/sec のステップで変化させている。

積分回路は速度偏差の値（ゲートが閉じられたときの比例回路のプリセットカウンタの値）を加算して D/A 変換したものを積分出力としている。上述の比例出力および積分出力は駆動モータ電機子電圧装置の設定電圧をこまかく修正する。比例出力は厳密には 1 mm/sec おきの階段波型で非線型であるが、速度検出車輪の微少な不整回転やスリットの不均一性がデザイナーの役目をして線型に近くなっているものと考えられる。

デジタル速度制御演算装置の速度設定器は運転操作盤にあり、1 組の高速範囲用設定器と 5 組の低速範囲用設定器とからなる。高速範囲用設定器は、5 個のデケード回転切替スイッチ（うち 1 個は 0 と 1 のみ選択可能）からなり、低速範囲用設定器は 4 個のデケード回転切替スイッチ（うち 1 個は 0~5 のみ選択可能）からなっており速度は mm/sec の単位まで設定できる。デジタル速度制御運転で低速範囲を選択しているときは、5 組の速度設定器のいずれかを選ぶための選択スイッチが運転操作盤上にあるので、これにより走行中に 5 種のうち任意の速度を選択変更することができる。選択された速度設定器の横には白色灯が点灯し、当該の速度設定器が選択されていることを示す。デジタル速度制御の速度設定器を規定の速度範囲外

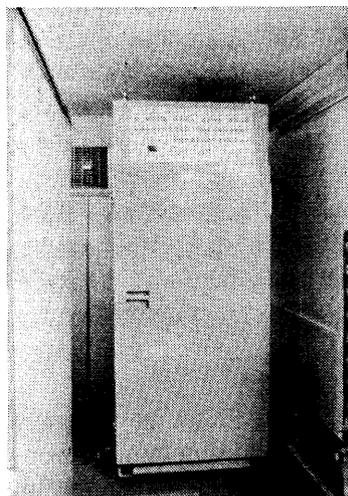


写真 6-3 デジタル速度制御演算装置

に設定したときは (0,200 mm/sec 以下, 14,999 mm/sec 以上), デジタル故障を示す赤色灯が点灯し, 曳引車は走行不能となる。写真 6-3 にデジタル速度制御演算装置, 写真 6-4 に速度検出車輪を示す。

6-4-3 デジタル速度制御演算装置のチェック

デジタル速度制御演算装置は写真 6-5 に示されるように部品の数が多いので故障の確率も大きいと想像される。このため, 曳引車を走行させる直前に演算動作をチェックすることが望ましい。デジタル速度制御演算装置の正面パネルにはこのためのチェックキーがある。

曳引車の停止時にチェックキーが押されると, これはセルフロックされてパルス発生機からの速度パルスのかわりにクロックパルスを分周して得られた 10KHz のパルスがパルス通倍回路に入り, 演算装置内部の速度設定値は運転操作盤の速度設定器とは無関係に 4,000 mm/sec 相当となって, パルス通倍回路および比例回路が正常であれば正面パネルにある速度偏差指示計が零を指示する。つぎにチェックキーの隣にあるマ

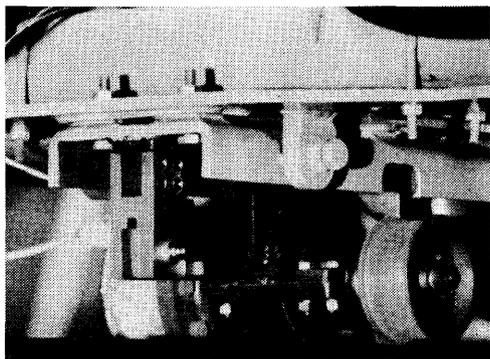


写真 6-4 速度検出車輪

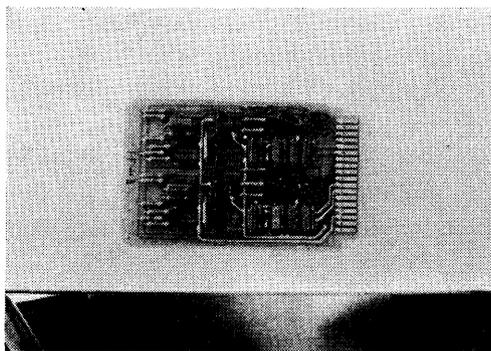


写真 6-5 デジタル速度制御演算装置
パッケージの一例

イナスの指標のあるキーを押し続けると, 速度設定値のみが 4,010 mm/sec となり, 正面パネルの速度偏差指示計が -10 mm/sec を指示し, 積分回路が偏差を積分し, 積分回路の動作を示すランプが点滅し, 約 2.5 秒後にこの回路は飽和して, これらのランプは全部点灯する。つぎにマイナスの指標のあるキーを離し, プラスの指標のあるキーを押し続けると設定速度の値は 3,990 mm/sec となって正面パネルの速度偏差指示計は $+10$ mm/sec を指示し, 積分回路は再び動作を開始してランプが点滅し, 約 5 秒後に積分回路は飽和してランプはすべて点灯する。演算装置の動作が上述のようであれば正常で, チェックキーを再び押すとロックは解除される。

デジタル速度制御演算装置がチェック状態にあるときはデジタル故障を示す赤ランプが運転操作盤上に点灯し, 曳引車は走行できない。

上述のチェック方式によりデジタル速度制御演算装置の故障のほぼ 80% は発見可能である。

6-4-4 デジタル速度制御の定速投入制御

デジタル速度制御で走行するとき, 起動時の定トルク制御はアナログ制御装置で行なわれる。曳引車の起動時にはデジタル速度制御は行なわれず, 電機子電圧定電圧装置の設定電圧として設定速度に対応した電圧に, いくらかの電圧が上積みされている。(これを上積み電圧ということにする。) 曳引車を起動すると曳引車には一定の加速トルクが働くので (後述) 次第に曳引車の速度は増加し, したがって駆動モータの電機子電圧も増加する。低速範囲が選択されているときは, デジタル速度制御演算装置の加速度制御回路は曳引車速度が設定速度より 215 mm/sec 下に到達したときにアナログ制御装置の電機子電流の設定値 (後述) を $1/5$ にする。さらに曳引車速度が設定速度の 15 mm/sec 下に到達したときにデジタル速度制御演算装置の比例出力が投入され, 電機子電圧定電圧装置の設定電圧に加算され, 同時に上積み電圧は零となる。比例出力の投入による曳引車速度の過渡的変化が減衰してから (0.2 秒後) 積分出力が初期値を零にして投入されて電機子電圧定電圧装置の設定電圧に加算されると, 定速投入を示す白ランプが点灯し, 積分制御が働いて設定速度と曳引車速度のオフセットが零となって定速となる。もし電機子電圧定電圧装置の設定電圧と上積み電圧の和で曳引車速度を設定速度の 15 mm/sec 下に, 到達させることができないときは比例回路は投入されない。したがって比例回路を強制的に投入して

デジタル速度制御を行なわせるための定速投入用ボタンを運転操作盤上にそなえている。これは、必要な速度で走行させるための電機子電圧が、アナログ制御装置の構成要素の直流増幅器のドリフトにより、または曳引模型船の抵抗値に応じて変化するためである。これをカバーするために上積み電圧を過大にすると比例出力を投入したときの曳引車速度の設定速度に対するオーバーシュートが大きく、模型船の模型試験には好ましくない。しかし、運転操作盤上に上積み電圧を加減するポテンシオメータがあり、必要なときには上積み電圧を 1 m/sec 相当の電圧から零まで変更することができる。

高速範囲では、素早い定速への切り換えが必要なので、上積み電圧の値も大きく一定とし (2.5 m/sec 相当) 比例回路も設定速度より 35 mm/sec 下で投入される。

停止ボタンが押されると比例回路および積分回路は切り離され、電機子電圧定電圧装置の設定電圧も零となり、あとの動作はアナログ速度制御装置の定トルク制御で行なわれて停止する。

6-4-5 アナログ速度制御装置

アナログ速度制御装置は、曳引車モータ軸の回転速度を 2.2 倍に増速した回転計発電機 (タコダイナモ) (低速範囲用)、または、駆動モータ軸に直結された回転計発電機 (高速範囲用) の出力電圧と、2 段のツェナダイオードで安定され、ポテンシオメータで分圧された直流の基準電圧との偏差すなわち速度偏差電圧をトランジスタ増幅器で増幅して、ツェロン回路のワートランジスタに加えている。補償回路は、ワード・レオナード発電機の界磁電流を微分して回転計発電機の出力に加算している。高低いずれの速度範囲でもループゲインは変化しないようにした。

速度の設定は連動操作盤の粗および精の 2 種のポテンシオメータで行なわれ、精は粗のほぼ 20% の範囲の微調節が可能である。この 2 種のポテンシオメータは、低速範囲と高速範囲に共通で、速度範囲の変更によりフルスケールの速度が変わる。

6-4-6 定トルク制御装置

加速時の定トルク制御装置としては、駆動モータの電機子電流を一定になるように制御するために、駆動モータ電機子回路に電機子電流の検出用の固定抵抗器を入れ、これの電圧降下量と加速度設定器からの電流設定用電圧とを電流比較器に入れて比較する。電機子電流が大きいときは、加速度設定電圧との偏差をアナ

ログ速度制御装置のトランジスタ増幅器に加え、駆動モータの電機子電圧を減少させて電流を減少させる。しかし、電機子電流が少なくても駆動モータの電機子電圧を上げないように、トランジスタ増幅器と電流比較器のあいだにシリコンダイオードを入れ、一方通行としている。これは曳引車の速度が設定された速度に到達したときには加速トルクは不要となるので電機子電流を減少させなければならないからである。

減速時は速度設定値を零とし、シリコンダイオードの極性を切り替えて、加速のときと逆方向の電流を減速度設定器で設定された値となるように駆動モータの電機子電圧を制御する。曳引車が停止する直前には駆動モータの逆起電圧は零に近くなるが駆動用サイリスタ増幅器により制御されるレオナード発電機の発生電圧は定速走行時とは逆方向となり、駆動モータの逆起電圧を零電圧検出リレーで検出し、このリレーが動作したときに曳引車は停止したとみなして、電磁接触器を動作させて電機子回路を開く。

加速度および減速度の設定器は 3 個あって、2 個は往行 (6-5-1-4 参照) のときの加速度設定および減速度設定用で、1 個は復行 (6-5-1-4 参照) のときの加速度兼減速度の設定用である。ともに運転操作盤上に設置されている。この設定器は速度設定器と同様なポテンシオメータであって、速度設定用の基準電圧を分圧して定トルク制御装置の電流比較器に加えている。

往行用の 2 個の設定器のフルスケールは駆動モータの定格電流の 110% に相当し、復行用の設定器のフルスケールは駆動モータの定格電流の 50% に相当する。

6-4-7 手動速度制御装置

手動速度制御装置は、速度制御用サイリスタ増幅器のツェロン回路に手動の可変抵抗器を入れたもので、これにより、曳引車速度を制御している。この可変抵抗器は曳引車操作盤の左すみのふたの内部にある。この上部にアナログ速度制御装置の低速範囲用の回転計発電機に接続されている精密級の電圧計で曳引車速度を監視するようになっている。

手動速度制御で起動、加速の際は、起動用ボタンを押すと駆動モータの電機子回路が閉じられるが、定トルク制御装置は作動しないので、運転操作盤上の電機子電流計が希望する加速度に対応する値を越えないように監視しながら可変抵抗器を操作して、曳引車を希望の速度まで加速する必要がある。減速および停止の際は、停止用ボタンを押して、電機子電流計の振れが加速のときと方向が反対でしかも希望する減速度に対

応する値を越えないように可変抵抗器を操作すれば、曳引車は減速されて停止し、駆動モータ電機子回路は自動的に開かれる。

手動速度制御の速度範囲は、低速範囲または高速範囲の選択とは無関係で、0.3 m/sec～4 m/sec である。

6-4-8 寸動走行装置

曳引車を微速で走行させて任意の位置に移動させることを寸動という。後述(6-5-1-1)の運転方式選択スイッチで寸動を選択しているときは、速度範囲の選択、速度制御方式の選択、速度設定器または加減速度設定器とは無関係となる。

寸動のときは、曳引車の起動ボタンを押し続けると、速度制御用サイリスタ増幅器のツーロン回路には手動制御の場合の可変抵抗器の代わりに固定抵抗器が入り、曳引車は起動して約 0.3 m/sec の速度で走行し続ける。起動ボタンを離れたときに直ちに逆方向の起動ボタンを押し、曳引車が停止する寸前にこのボタンを離すことにより減速度を大きくすることができる。

6-5 運転操作盤

運転操作盤は、曳引車の運転に必要な各種の切替スイッチ、設定器、ボタンと運転用諸装置の状態を示す各種のメータ、ランプからなっていて、曳引車の南側縦桁の中央付近に設置されている。また、計測床の中央付近に移動可能な遠方操作盤があり、曳引車の任意方向への起動および停止の指令ボタンと、デジタル速度制御のときの速度設定器の選択スイッチ、定速投入ボタンおよび定速投入を示すランプが設置されている。写真 6-6 に曳引車の運転操作盤を示す。

6-5-1 切替スイッチ

切替スイッチは運転操作盤上にあり、これらスイッチにより選択された状態は同盤の運転状態表示器のランプで表示される。これらには各運転制御用機器への

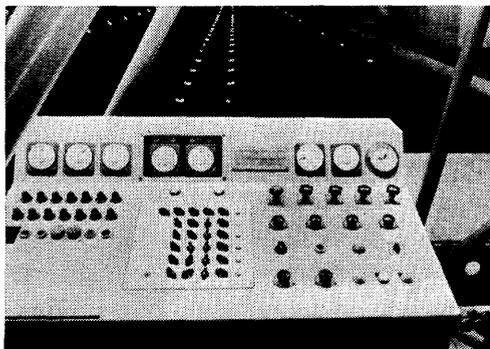


写真 6-6 曳引車運転操作盤

電源の開閉、制御回路への接続または切離しを行なうリレーが接続されている。

曳引車の走行中は、以下にのべる 6-5-1-1～3 のスイッチはインターロックされているので、曳引車の走行中に切替えを行なっても、切替え以前の状態を保持し、曳引車が停止してから、はじめてスイッチで選択したように各部が切り替えられる。

6-5-1-1 運転方式選択スイッチ

このスイッチは曳引車を寸動で走行させるかまたは他の速度制御で連続走行させるかを選択する。

6-5-1-2 速度範囲選択スイッチ

このスイッチは本曳引車では 6-3-5 で述べたように高速範囲と低速範囲とを分けているので、この速度範囲を選択する。

6-5-1-3 速度制御方式選択スイッチ

運転方式選択スイッチで連続を選択したときにこのスイッチで速度制御方式を手動制御、アナログ制御、または、デジタル制御のいずれかに選択する。

6-5-1-4 制御方向選択スイッチ

通常の水槽試験では、計測を行なうのは曳引車が一方方向に走行する(これを往行ということにする)ときのみで、かえり(復行)はできるだけ水槽の水を乱さないようにごく低速で走行するのが通例である。復行の速度は高精度を必要としないので往行と復行では制御方式を切り替えて走行するようにした。往行時にはデジタル速度制御が有効で、復行時は設定速度の変更が容易なアナログ速度制御とし速度設定も復行専用の速度設定器で行なえるようにした。

南へ向って往行することを南往、北へ向って往行することを北往と名づけ、南往と北往を切替える制御方向選択スイッチを設置した。このスイッチの使用頻度は少ないと考えられるので通常はプラスチックのふたがかぶせてあり、このスイッチには走行中のインターロックはなされていない。

6-5-1-5 操作場所選択スイッチ

このスイッチは曳引車の起動等の操作を運転操作盤で行なうか(直接)、または、遠方操作盤で行なうか(遠方)を選択する。

6-5-2 各種押ボタンおよびランプ

曳引車の起動などの動作を指令するために各種の押ボタンが運転操作盤に設置されている。これらの押ボタンはそれぞれの機能を持ったリレーに接続され、押ボタンのそばにあるランプを点滅させて動作が実行されたことを表示する。なお、リセットボタンおよび故

障表示用のランプなどについては6-6で説明するのでここでは省略する。

6-5-2-1 制御装置電源投入用押ボタンおよび制御電源ランプ

制御装置電源投入用ボタンを押すと駆動モータ界磁用サイリスタ電源装置、速度制御用サイリスタ増幅器、駆動モータ電機子回路しゃ断器用電源装置および各種のリレーなどに電源が投入され、保持回路により、保持される。またこの電源の投入により常励磁弁が働き、スプリング制動を解除し、制御電源の投入を示す白色ランプが点灯する。さらにまた、速度制御方式選択スイッチにより指定された制御方式に応じて必要な機器にも電源が投入させる。

6-5-2-2 非常停止用押ボタン

走行中の曳引車を非常の場合に急に停止させたいときにこのボタンを押すと、上述の6-5-2-1のすべての装置の電源を断路するので曳引車のすべての電気的な速度制御機能が失われ、スプリング制動が作動し、制御電源投入を示す白ランプが消灯し、ベルが鳴る。また、実験の終了後に曳引車の制御電源を断路するときもこのボタンを使用する。

6-5-2-3 起動、停止用押ボタン

操作場所として直接が選択されているときの起動、停止は運転操作盤上にある南進、停止、北進の順に左からならんでいる3個の押ボタンにより行なわれる。南進のボタンを押すとそのボタンの下にある白色ランプが点灯し、南往、北往のいずれが選択されていても曳引車は南へ向って走行する。停止ボタンを押すと、その下の白色ランプが点灯し、減速状態となる。北進ボタンを押すとその下の白色ランプが点灯し、曳引車は北へ向って走行する。

遠方操作盤を選択しているときは上述と同様に起動、停止の操作が遠方操作盤の同種の押ボタンによって行なわれる。ただし、停止用押ボタンについては操作場所がいずれに選択されていても常に両操作盤でも有効である。

南進のときには曳引車屋上南側の信号灯は赤灯が北側の信号灯は緑灯が点灯し、完全に停止したときには両側とも燈灯となる。

北進のとき信号灯の点灯は上述の逆となる。

6-5-2-4 造波装置起動停止用押ボタン

造波装置起動停止ボタンを押すと水槽南端にある造波装置を起動させ、2度目に押すとこれを停止させることができる(8-2-5参照)。これは曳引車の走行、停

止の如何には無関係である。

6-5-2-5 消波装置昇降用押ボタン

消波装置昇降用押ボタンの操作により水槽両側の消波装置を操作することができる(7-2-2参照)。これも曳引車の走行とは無関係である。

6-5-3 各種メータ類

運転操作盤には曳引車の駆動装置の状態を表示するメータが設置され、これにより必要な箇所の電圧、電流、空気圧等を知り、異状の有無およびその箇所の推定ができる。電圧電流計としては110mm角の広角度メータを使用した。各メータの指針の標準の位置または最大値以上を赤色の目盛りとした。

6-5-3-1 DG 界磁電流計

これは、フルスケールが $\pm 50A$ の両振れの直流電流計であって、レオナード発電機の界磁電流を表示する。曳引車の停止中にこの電流計が振れる場合はアナログ制御装置のトランジスタ増幅器または速度制御用サイリスタ増幅器に異状がある。

6-5-3-2 DM 界磁電圧計

これは、フルスケールが0~300Vの直流電圧計であって、駆動モータの界磁電源の出力直流電圧を表示する。この電圧が零のときは駆動モータ界磁用サイリスタ電源に異状がある。通常この電圧計の表示は、駆動モータ界磁コイルの温度が上昇するのに従って、150V程度から200V程度までゆっくりと上昇する。

6-5-3-3 DM 界磁電流計

これは、フルスケールが0~30Aの直流電流計であって、駆動モータ界磁の電流を表示する。通常は電流値が16Aを表示しているが、上述の6-5-3-2のメータは振れるが、このメータが振れないときは駆動モータ界磁に異状がある。16Aと異なるときは駆動モータ界磁用サイリスタ電源に異状がある。

6-5-3-4 主回路電圧計および主回路電流計

この2個は運転操作盤のプラスチックのおおいの中にあり、主回路電圧計はフルスケールが $\pm 2,000V$ の両振れのメータで、4台の駆動モータ電機子電圧の和を表示し、主回路電流計はフルスケールが $\pm 1,000A$ の両振れのメータで、駆動モータの電機子電流を表示する。曳引車を起動する際に、6-5-3-1の電流計は振れるが6-5-3-4の電圧計が振れないときは、発電機に異状があると考えられる。また6-5-3-4の電圧計は振れるが6-5-3-4の電流計が振れないときは、駆動モータに異状がある。

6-5-3-5 デジタル速度偏差計

これは、フルスケールが $\pm 100 \text{ mm/s}$ の両振れのメータで 6-4-3 に述べたデジタル速度制御演算装置の速度偏差指示計と同一の内容を表示する。このメータによりデジタル速度制御演算装置の動作状態を監視できる。

6-5-3-6 速度計

これは、フルスケールが $\pm 7 \text{ m/sec}$ および $\pm 16 \text{ m/sec}$ の二重目盛りの両振れのメータで、およその速度の見当がつけられる。

6-5-3-7 制動空気圧力計

これは強制制動用の空気圧を表示するメータで、赤と黒の2本の指針があり、赤針はタンクの圧力を、黒針はシリンダの圧力を表示する (5-8-2 参照)。

6-6 緊急停止装置およびインタロック

緊急停止装置は、曳引車が走行中に種々の原因により走行を続けることができなくなったときに曳引車を停止させる装置であって、これには2つの種類がある。この装置により停止したときはその原因が運転操作盤上に赤ランプで示される。

6-6-1 第1緊急停止装置

第1緊急停止装置が曳引車の故障以外の原因で停止すべき要因を検出したときに、曳引車は自動的に、常用の停止用押ボタンが押されたときと同じ状態となり、回生制動などが動作して停止する。また、曳引車の停止中にこの装置が動作している場合には、あやまって起動用押ボタンが押されても曳引車が走行しないようにインタロックされる。停止すべき要因が取り除かれるとランプは消え、運転可能を示す運転操作盤の緑ランプが点灯する。

この装置が動作するのは次の場合である。

(1) 自動制動が動作したとき

自動制動 (5-8-6 参照) は無接触形のリミットスイッチの動作でベルを鳴らし、曳引車を停止させる。そののちに自動制動解除ボタンを押すと自動制動が動作したことを示す赤ランプが消え再び走行可能となる。またこの自動制動解除ボタンを押しながら、リミットスイッチが動作する位置を曳引車が通過すれば、自動制動は働かない。

(2) 強制制動が動作したとき

このときはまずハンドルについているリミットスイッチが動作して減速状態となり、更に動かすと空気油圧式の強制制動が働く。

(3) デジタル速度制御演算装置に下記の異状が検出されたとき

- 1) デジタル速度制御演算装置がチェック状態にあるとき
- 2) 速度検出用パルス発生器のランプが点灯しないとき
- 3) 速度が設定可能範囲を越えて設定されたとき
- 4) デジタル速度制御演算装置用リレー電源 (運転操作盤内収納) または同装置本体の電源回路に異状があったとき

これらの異状が除かれるか、またデジタル速度制御方式以外が選択されるとデジタル故障を示す赤ランプが消えて曳引車は走行可能となる。

(4) 曳引車の昇降用梯子が格納されていないとき

6-6-2 第2緊急停止装置

第2緊急停止装置が曳引車の運転制御装置に異状を検出したときに、曳引車は自動的に非常停止用押ボタンが押されたときと同じ状態となり、スプリング制動などが動作して停止する。また、この場合制御用電源がシャ断されているので再起動できない。停止すべき要因が取り除かれ、その後電源が再投入されると、赤ランプは消え、運転可能を示す緑ランプが点灯する。

この装置が動作するのは次の場合である。

- (1) 停電のとき。
 - (2) 曳引車駆動モータの界磁が喪失したとき。
 - (3) 曳引車の速度が設定可能範囲を越え、過速度となったとき。
 - (4) 曳引車モータ電機子回路の接地漏洩電流が規定値以上になったとき。
- 上述(3)、(4)の過速度および接地の場合はその原因を取り除いてから運転操作盤上の(3)(4)専用の故障リセットボタンを押すことにより始めて制御電源の投入可能状態となる。
- (5) 非常停止ボタンが押されたとき (6-5-2-2, 参照)
 - (6) 水槽棟北部動力室内の曳引車駆動用誘導モータの電源用シャ断器または曳引車駆動モータ電機子回路シャ断器が動作したとき。
 - (7) 駆動モータ冷却用ファンモータが過負荷になって回路の熱動継電器が動作したとき。
 - (8) 速度制御用サイリスタ増幅器に過電流が流れ、同装置のノーフェーズブレーカーが動作したとき。
 - (9) 曳引車の強制制動用空気圧が 7.2 kg/cm^2 以下に低下したとき。

なお、空気圧縮ポンプは空気圧が、 8 kg/cm^2 以下になったときに動作し、 9 kg/cm^2 以上で停止するように設定されている。

(10) 水槽棟南端部にある非常制動 (5-8-3 参照) が動作したとき。

曳引車が非常制動で停止した後非常制動用フックの上方にあるスイッチで非常制動を解除すると、非常制動の動作を示す赤ランプは消灯し、非常制動解除ランプ (橙色) が点灯する。このとき曳引車は寸動のみ走行できる。つぎに、解除スイッチと非常制動用フックを復旧すると橙色ランプも消えて正常状態に復帰する。

また第2段階緊急停止装置のリレーをテストするためのスイッチがあり、これをテストの状態にするとすべてのリレーが正常の場合はベルが鳴る。

6-6-3 その他のインタロック

往行時に空調機および制動用空気圧縮機が起動すると、その振動のために実験に悪影響があるので往行中はその運転を停止させている。

6-7 付属ぎ装品

曳引車を走行させるための機器については前項までに述べたが、ここでは曳引車の制御に直接関係のない機器、すなわち曳引車速度計と模型船の自航試験・プロペラの単独試験に使用するモータとその電源について述べる。

6-7-1 曳引車速度計

曳引車の速度計はデジタル速度制御用のパルス発生機構と同一のものをを用いた。ただし円板の1周のスリットの数には300個である (速度検出車輪の円周は300mmである)。速度検出車輪は、曳引車東部床下で走行レールに圧着されている。このパルス発生器からの出力パルスを曳引車の計測床のほぼ中央に設置されたパルスカウンタが1秒間計数し、パルスカウンタとならべて設置されている5桁のデジタルプリンタがmm/secの単位で速度を印字する。

パルスカウンタおよびデジタルプリンタはこのほか2チャンネル分があり、自航動力計のデジタル回転速度計測その他に使用される。このほか水槽の北端から220~360mの間には、 $2,400 \pm 1$ mmおきにディスタンスピースがあり、これで曳引車上に設置された光電検出器の光をしゃ断し、この時間間隔を計時用パルスカウンタで計測し、デジタルプリンタに印字することによって対地速度を計測することが可能である。これは通常速度計測値およびデジタル速度設定値と対地速度の検定に使用される。

6-7-2 自航試験用モータ

自航試験のとき使用する模型プロペラ駆動用の直流

分巻モータ4台を設置した。このうちの2台は1.5kwで他の2台は3kwである。いずれも連続定格でモータの重量を軽減するために最高回転数を4,000rpmとした。直流分巻モータはトルクに対する過負荷耐量が比較的大きいので (JIS規格では定格電機子電流の200%, 1分間)、場合によっては過負荷の状態短時間の試験を行なうことを予想して容量を決定した。

6-7-3 プロペラ単独試験機用モータ

プロペラ単独試験機に使用するモータは前述の自航試験用モータと同じように直流分巻モータとし、大型プロペラ単独試験用として15kwもの1台、同上小型用として5kwのもの1台を設置した。いずれも連続定格で最高回転速度は3,000rpmである。

大直径のプロペラのスタンド・テストにおいて、モータを過負荷で使用することを前提として前項と同様にモータの容量を決定した。

6-7-4 自航モータ用電源

自航モータおよび単独試験用モータに共通の電機子電源は30kwの誘導モータで回転される20kwの直流発電機およびその制御装置からなっているワード・レオナード電源である。ワード・レオナード電源を選んだ理由は単独試験においては場合によってモータがトルクを吸収する必要があるからである。各モータの界磁用電源としてシリコン整流器でAC220Vを整流し、モータの容量に応じそれぞれの抵抗器で電流を調整し、各モータに加えている。

各モータにはそれぞれソケットがついており、電源からの接続コードおよびプラグはモータに応じ専用のものがある。各モータの電機子回路はモータに応じて適当な過電流保護リレーが接続されている。それぞれのモータには同一規格の回転計発電機がモータ軸に直結されていてその出力は回転速度制御装置に送られる。回転速度制御装置は曳引車のアナログ速度制御装置の定トルク制御部分を除いて簡単にしたものと同種であって、増幅器は同一規格品を使用している。

回転速度設定器は可搬型のモータ操作盤にあり、これと自航モータ制御盤とはケーブルで連結されている。回転速度の設定は操作盤上の粗および精の2個の設定器で行ない、精の設定器の設定範囲は粗の約20%である。

自航モータの運転は次のようにする。

(1) 自航モータ制御盤のAC電源投入を示す白ランプおよび界磁電流が接続されていることを示す白ランプの点灯を確認する。

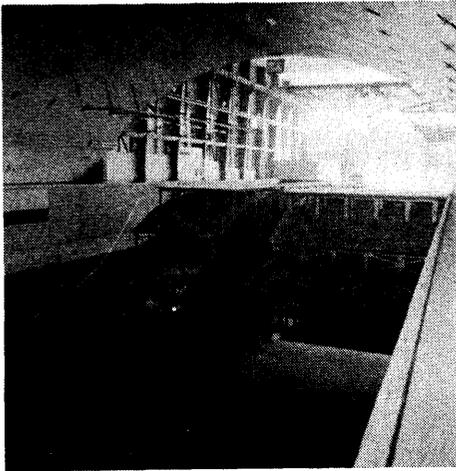


写真 7-1 北端消波装置
(約 4 m 水が入った状態)

状等の beach 形式の物のほか、空気式 (pneumatic curtain)、溢流式 (overflow)、カーテン式 (plastic curtain) 等があるが、計画の段階でそれぞれの得失の検討と若干の模型試験が実施された。この結果、消波装置の効果としては、10度以下のゆるい傾斜角をもち、水面附近を粗面にした beach 型のものが本水槽に適し

ていることがわかった。しかし、平水中の船型試験で模型船のつくる短い波と、造波機による長くてかつ波高の高い波が、それぞれ効果的に消えるために後に述べるような若干の工夫を加えた。水槽北端のトリミングタンク側には、図 3-1 および写真 7-1 に示すような上下 2 層の beach 型の消波装置を設けた。水槽南端の造波板の後方には、造波板によって攪乱された水の動きを吸収するための砕波ブロックと、平水中の試験で造波板を沈めた場合に使用する短い beach を設けた。またこの beach には、水面掃除用の排水溝が設けてある。水槽の側壁東西各 296 m 間には、油圧可動式の beach 型の側面消波装置が設備されているが、その概要を図 7-1 に示す。

このほかに、水槽内の長波および残流減衰を促進するために必要な plastic curtain やトリミングタンクの入口に必要な浮沈式の消波装置等、水槽完成後の増設工事が可能なものは、さし当り本工事から除外されている。この結果、現在のところ造波機の波に対してはトリミングタンク附近の反射波が多く消波効果に若干の問題があるが、まもなく可動式の消波装置をトリミングタンクおよび模型船貯蔵タンクの入口に設置する予定である。

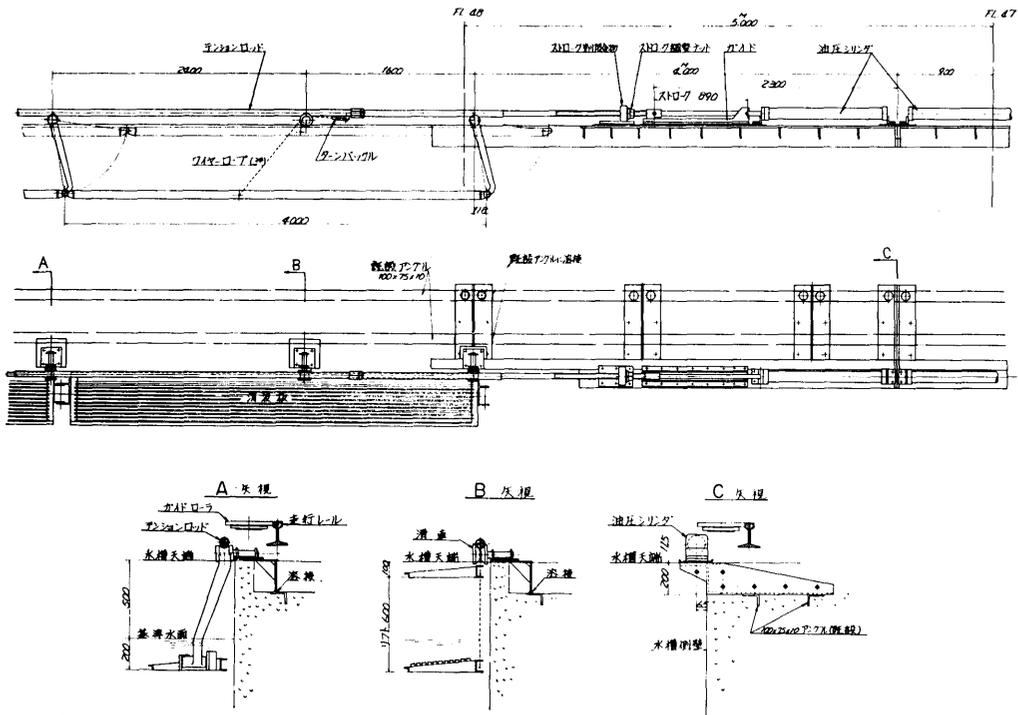


図 7-1 側面消波装置

7-2 側面消波装置

7-2-1 概要

側面消波装置は、平水中の試験では、消波板を適当な位置に下げて、模型船等による波を消すことができるもので、また一方波浪中の試験では、逆に消波板をできる限り高い位置に上げて、造波装置でおこした波を乱さないことができるものでなければならない。設計に関して、特に次の事項が検討された。

- (1) 消波板の昇降には人手を要しないこと。
- (2) 水槽本体側壁には、大きな水平力を加えないこと。
- (3) この装置の性質上、精度の高い保守を常に行なうことが難しいので、耐久性と動作の確実性を重視すること。

このほか、水槽側壁の頂部は、レールおよび曳引車との関係で、消波装置を設置できる空間は極めて限られており、このことが設計の大きな制約となった(図4-1参照)。

この結果、図7-1に示すように消波板は、鋼材および塩化ビニールによる簀の子状の beach とし、油圧で駆動されるものとした。油圧シリンダは、水槽中央部に配置し、同一機械台の上に2台を、相互に逆向に取り付け、消波板を引き上げるための水平力を相殺するようにした。また長い水槽の各部の消波板の動きを等しくするため、動力の伝達には、テンションロッドを用いているが、この伝達方式は、防衛庁目黒水槽で考案された方法によっている。操作は、水槽中央部、トリミングタンク横のほか、曳引車上でも行なうことができる。

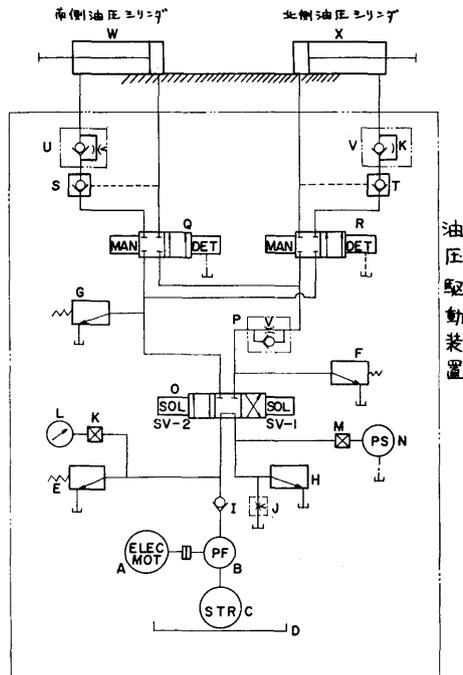
7-2-2 油圧駆動装置および操作

油圧駆動装置は、水槽のほぼ中央の東西各側に1台ずつ設備されている。ポンプユニットの主な仕様は、

吐出量	15 l/min (115 kg/cm ² , 1000 rpm の場合)
ポンプ調圧	185 kg/cm ²
油槽	150 l

で、日本エヤブレーキ株式会社製である。本装置の油圧系統図と写真を図7-2および写真7-2に示す。油圧シリンダは、最高使用圧力引側 180 kg/cm²、押側 70 kg/cm² のものであるが、調査したところによると、シリンダ1台当りに加わる最大負荷は、約5トンと推定される。

消波板の昇降の操作は、ポンプユニット付属の操作盤トリミングタンク横の北側動力盤の操作によって、東西各側および両側同時の昇降、停止が可能で、曳引



記号説明

B	油圧ポンプ	N	圧力スイッチ
C	フトレナー	P, U, V	速度調圧弁
E, F	調圧弁	SV	ソレノイドバルブ
G	安全弁	S, T, I	インラインチェックバルブ
H	背圧用リリーフバルブ	R, Q	手動切換弁
J	絞り弁		

図7-2 側面消波装置(駆動用油圧系統図)

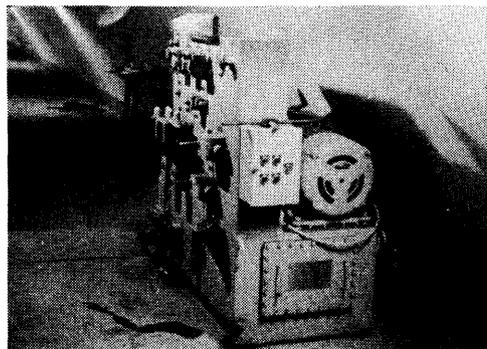


写真7-2 側面消波装置用(油圧駆動装置)

車運転台からは、両側同時の昇降を行なうことができる。消波板の昇降スパンは、最大0.6mであるが、ストップを設定することにより任意の高さを下限とすることもできる。

7-2-3 動力伝達装置

消波板は、水槽の中央に設置した油圧シリンダから南端または北端の消波板まで、各144mの間に配置されているが、その全体にわたって、消波板は、均一に

昇降しなければならない。また、数の多い消波板および伝達装置のいずれかに、調整の不良等のため無理が生じて、全体に影響することも避ける必要がある。これらのことから図 7-1 に示すよう、油圧シリンダに直結した、直径が 60 mm の丸棒（テンションロッド）をガイドローラーの上に支えて、この動きを直径 3 mm のワイヤロープに伝え、消波板を昇降させた。

なお動力伝達装置の基礎は、水槽本体に取付けられている。レール基礎取付け用のチャンネルにアンカーしたものであるが、これ等を写真にして写真 7-3 に示した。

7-2-4 消波板

先に説明したように、消波板は、鋼材の骨組の上に塩化ビニールの厚板（積水化学製、エスロンプレート C-1281）を角材に加工して竇の子状に張ったもので、

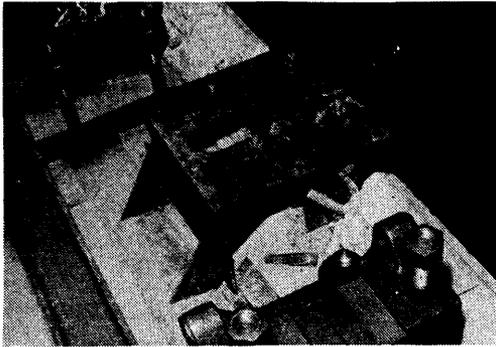


写真 7-3 側面消波装置基礎
(消波板取付アームの基礎(中央)を示す。前後は、レールチェアー)

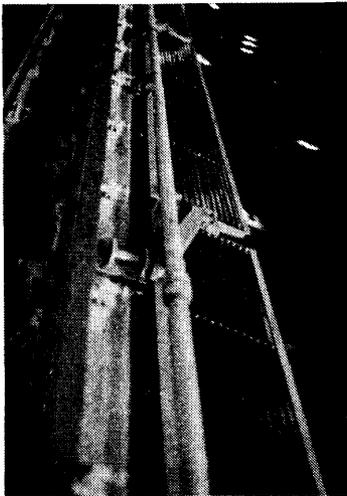
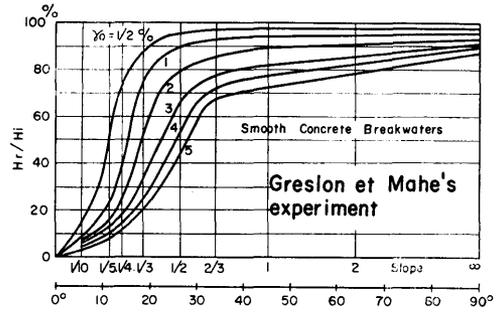
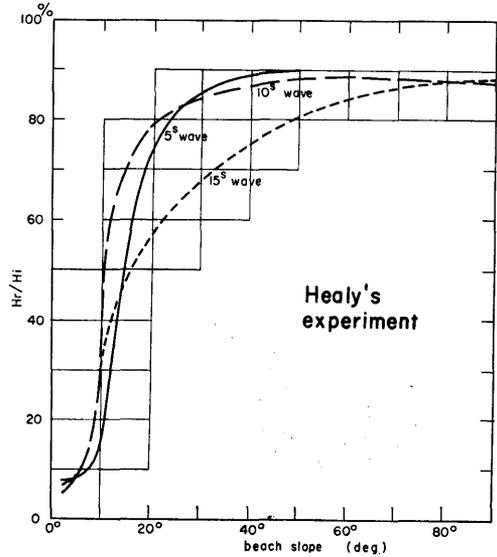


写真 7-4 側面消波装置用
消波板（上にあげた状態を示す）



Reflection vs Slope for Smooth Concrete Breakwaters



Wave Reflection as a Function of Slope

図 7-3 beach 型消波板の性能の研究例

その写真を写真 7-4 に示す。

消波板 1 枚の長さは 4 m、重量約 150 kg、消波板の傾斜角は 1/8 (約 7°) である。

7-3 水槽北端および南端消波装置

造波機で発生した波が消えるまでの過程について考えると、波は、消波 beach に近づき、水深が浅くなるに従って波長が短くなり、波高および Steepness が増大し、限界 Steepness に達して波頭が崩れ、波高を減じながら beach を這い上り、押し上げ流れとなって消滅する。消波装置の性能としては、この間に生じる反射波の波高をできる限り小さくする必要があるが、このような beach 上の波の運動を解析して、消波装置の設計に直接役立つような理論は完成されていない。し

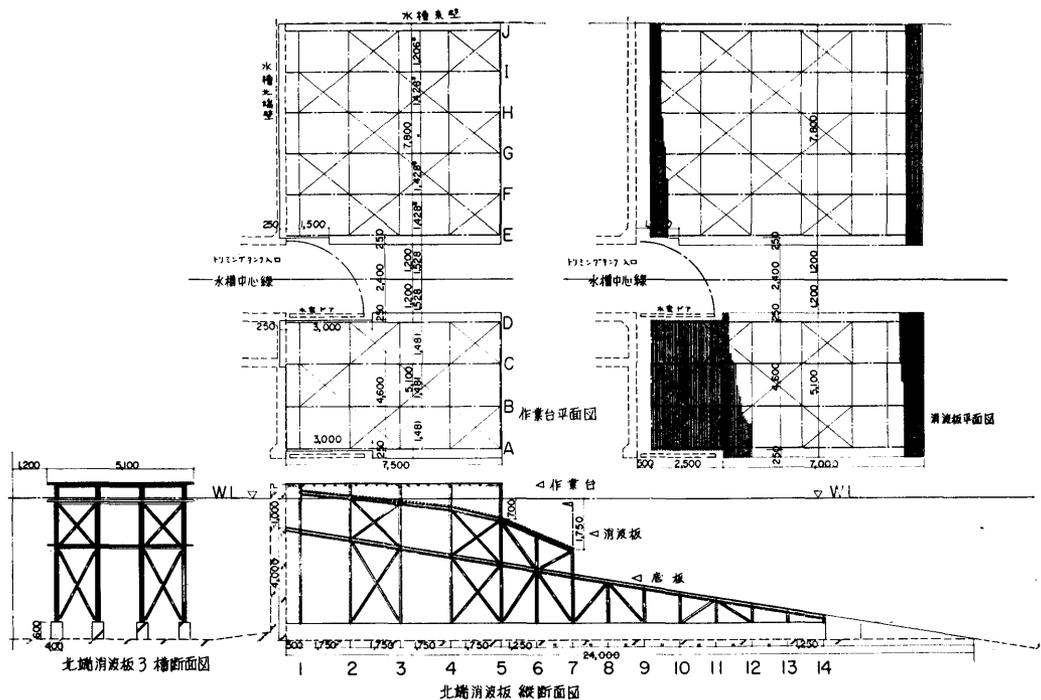


図 7-4 北端消波装置

かし、これまでの研究によると、beach の傾斜角は、10度以下にする必要があり、可能なら5度以下とした方がよいといわれている。これまでの研究の一例として Healy¹⁸⁾ および Mahe¹⁹⁾ による実験の結果を図 7-3 に示した。beach の先端の深度としては、1/2 波長程度が必要とされている。beach の表面の粗度は、傾斜角がゆるい場合は、摩擦の多い粗面にした方が消波効果がよい。また beach の面における上下方向の流通性を流通度と呼ぶことにすると、比較的浅いところでは、ある程度の流通度があった方がよいようである。P. A. Hamill¹⁷⁾ の研究によると、適当に設計された beach では beach 面の下側に追い込まれた波が beach の下側から上に吹き上げてくる影響は顕著で、著者等の消波板模型による観測もこのことを示していた。この場合の beach 面の厚みは、ほとんど影響がない。また beach 後端の静水面からの高さは、斜面がゆるければ、波高程度あればよいことが知られている。

このような結果を参照し、模型試験を加えて図 7-4 および図 7-5 図に示したような消波装置を水槽の北端および南端に設けた。

北端の消波装置は、上下2層になっている。下の層の beach は、長さ 41.2m で 1/6 (約 9.5 度) の傾斜

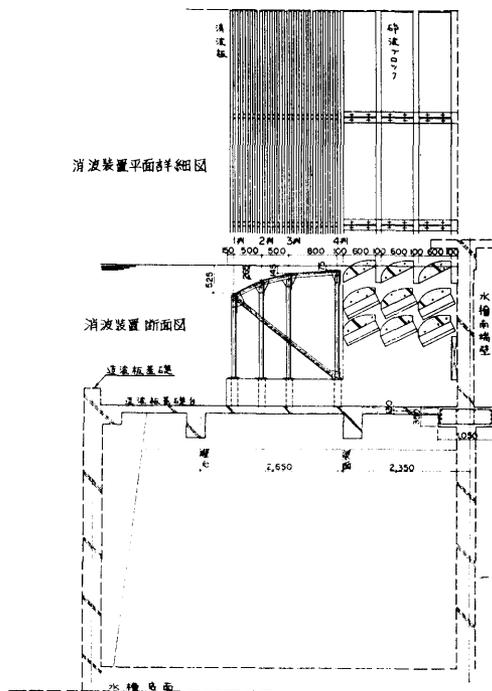


図 7-5 南端消波装置

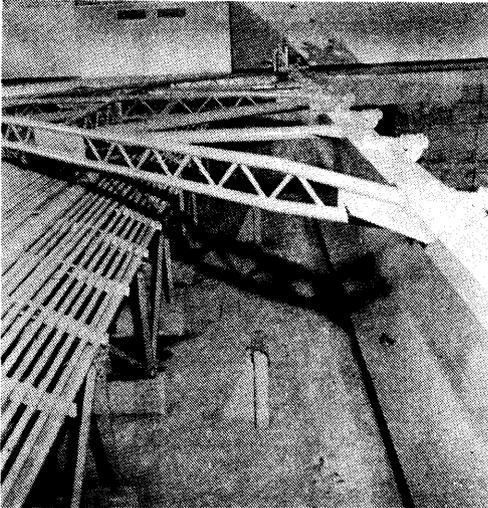


写真 7-5 南端消波装置および造波板
(パーム製ブラシおよび水が無い状態を示す)

をもち、波長の長い波の Steepness を増大させて、崩れやすい状態を作ることを目的とし、上の層は、長さ 9.5 m で、傾斜は先端で約 23 度、水面附近で約 5 度の曲面をなし、短い波および長い波で Steepness が高くなったものを消すことを目的としている。構造は、下の層は、鉄筋コンクリートまたは鉄骨構造の上に松材をつきつけ張りしたもので、上の層は、鉄骨構造の上に 50×50 mm の松の角材を 40 mm 間隔に張り、さらに水面附近には、直径 100 mm の鉄心パーム製ブラシを敷きつめたものである。

南端の消波装置は、先に説明したように、造波板用基礎台の上につくられ、beach および砕波ブロックで構成されており、造波板との関係を写真 7-5 に示す。beach は、北端消波装置の beach と同様の構造で水面附近には、パーム製ブラシが敷かれている。

8. 造波装置

8-1 基本計画

8-1-1 造波方式

船型試験水槽用の造波装置は、この装置によって水槽内に造られた波を利用して種々の実験を行なうことを主目的とし、いわゆる深海波用造波装置であるのが通常である。

造波装置を、ただ単に水面に周期的な攪乱を与えられるものと解釈すれば、人工波を発生させる造波方式には、いろいろなものが考えられる。しかしながら、船型試験水槽用造波装置として満足すべき諸条件を検討

してみると自ら二、三の方式に絞られてくる。すなわち

- (1) 深海波の水粒子の運動に対する造波機の運動の合致性
- (2) 造波装置の規模
- (3) 造波装置設置場所の立地条件
- (4) 発生した波が安定で正弦波と見做しうること
- (5) 造波特性がなるべく簡単明瞭であること。すなわち発生したい波と造波機の運動との対応が容易に推定できること
- (6) 建設費
- (7) 維持費
- (8) 慣性の大小
- (9) 従来の実績
- (10) 建造技術上の制約

等を考慮すれば、プランジャー型、フラップ型、ニューマチック型の 3 種に限られてしまう。プランジャー型は、場所をとらない、所要馬力が少ない、波長に応じて没水深度を変えることができるなどの利点がある。しかし一方、その機構上、水槽本体建設時に、プランジャーのガイド部分を十分堅牢かつ精密に装備しておかなければならないこと、水槽幅の広い場合、深さの小さなプランジャー本体を一様に上下させることが技術的にかなり難しいことなどの工作上の問題の他、静水中の諸実験の際に船等によって造られる波の消波装置、あるいは水面掃除を行なう際の不便さなどに問題がある。また本邦ではこの形式の造波装置に見べき実績がなく、主要部品を輸入品で賄わねばならないことなどを考えて、この形式は一応見合せることとした。

ニューマチック型は種々の利点はあっても、現状では造波機構の理論的な解明にも問題があり、実績も少ないことから、この形式も採用しないことにした。

フラップ型は、板の両面から波を発生し、このため後方に砕消波用の区域を設ける必要があり、プランジャー型に比して倍の馬力を必要とする等の難点もあるが、理論的根拠が明確であること、幅の広い水槽でも造波板を全幅にわたって一様に運動させるのが容易であること、実績の多い点等を考慮して、フラップ型の採用に踏切った。

8-1-2 駆動方式

駆動方式は、発生波の周期および波高変換機構と密接な関係があり、造波機の使用主目的や精度、最大容量について十分の考慮が必要である。フラップ型を採用した場合、考えられる駆動方式は、電動式および電

気油圧式の方式であろうが、不規則波発生の場合も考えて、電気油圧式を採用した。

8-1-3 所要馬力

実験に必要と思われる波長および波高の範囲を次のように定めた。

- 波長 (λ) : 0.5~18.0 m
- 波高 (H_w) : $\frac{\lambda}{10}$ m : $\lambda \leq 6.0$ m
- 0.6 m : $\lambda > 6.0$ m

このような波を造るに必要な駆動装置の主電動機出力は、図 8-1 に示すように、造波板を動かすに要する力と板の速度との関係式を導き、この計算値を用いて油圧装置および駆動電動機の容量を算定し、これに若干の余裕をもたせて 110 kw と決定された。

8-1-4 機構

造波機の基本的な操作は、発生した波を監視検討しつつ行なえることを条件に、各機器の配置および動力伝達機構を決定した。すなわち、騒音源となる油圧機器はすべて、水槽室南端部下方に設けられた造波装置機械室内に配置し、これらに関連した受電・電源設備も同室内に置いた。一方、造波運転、造波停止、波長波高の設定変更、機器の運転状況監視等の制御操作は、水槽室南端西側に造られた造波装置操作室で行い、造波運転停止については、切換スイッチにより、操作室

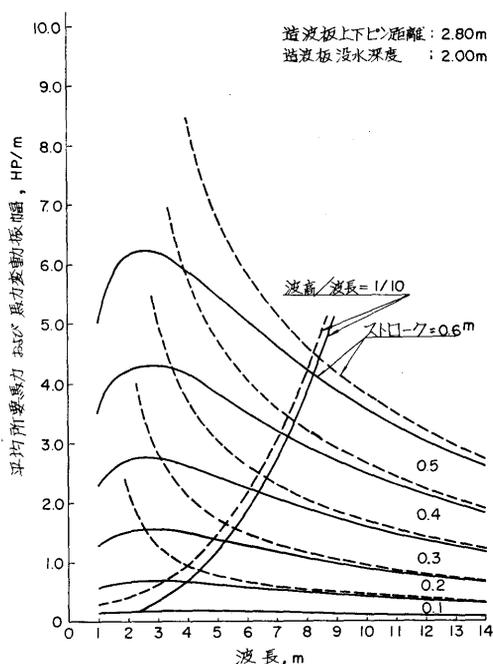


図 8-1 造波板にかかる力

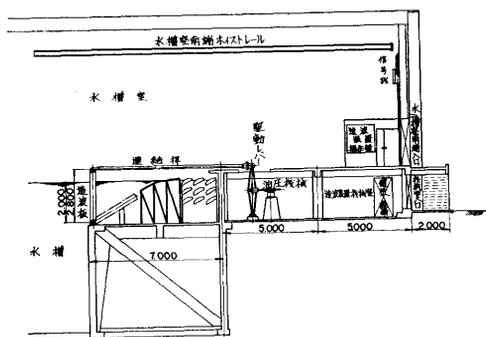


図 8-2 造波装置一般配置図

あるいは曳引車上のいずれかで操作することができ。また、水槽室南端部は、造波装置連結桿の格納場所であるほか、将来、高速専用台車等の格納場所に予定されていることも考えて、南端天端上にある部材は極力その高さを押えて設計した。

動力伝達機構は、これらの諸条件や入手し得る油圧シリンダの最大ストロークを考慮して決定した。機械室内の油圧シリンダは、操作室内の制御装置の命令信号により、所定の周期、ストロークで運動する。この油圧シリンダの直線運動は、駆動レバーを介して、水槽室の連結桿の水平運動として拡大伝達され、更に、連結桿は造波板頂部の軸受で造波板と結合されていて、その運動を造波板下端を固定軸とする造波板の回転運動に変換して、波の発生が達せられる。

造波装置一般配置の概略を図 8-2 に示す。

8-2 各装置の概要

8-2-1 基礎

本装置の基礎はすべて水槽本体建設工事に含んで行われ、油圧シリンダ基礎、造波板下端回転軸受基礎が主たるものである。土質の軟弱なため、斜杭の使用等、油圧シリンダ周りの基礎には十分の考慮が払われている。

8-2-2 造波板

造波板は、水槽南端壁より 6.750 m の位置に、水槽天端より下方約 3 m の造波機棚に取付けられている。造波板下部回転軸中心は、天端下方 2.500 m、上部回転軸中心は天端上方 0.300 m の高さであり、軸間距離は 2.800 m、標準水位時で没水深度 2.000 m (下部回転軸中心まで) となっている。造波板本体の外観寸法は、長さ 17.99 m、幅 0.26 m、深さ 2.32 m であり、3 個の鋼製ボンツーンを接合したものである。造波板は下部の気密閉部分と上部の導水可能部分とからなり

造波板水没格納時に上部ブロックに封水して水没を行なう。板前面の平滑度は $\pm 2\text{mm}$ である。

8-2-3 連結桿，駆動レバーその他

連結桿は，油圧シリンダの運動を駆動レバーを介して造波板に伝えるものであるが，その水槽室南端天端上への移送格納する際のクリアランス等のため，強度上許しうる限りその高さを押えた。このような条件あるいは工作精度上の観点から，I形横桁と鉄製パイプを主部材とする構造を採用した。強度計算上では，連結桿の最大撓みは，最大荷重に対して下方向6mm程度である。連結桿の長さは南北の回転軸間距離で8.600mである。造波板との結合は，I形横桁に取付けられた9個の回転軸を，造波板上部軸受に嵌合して行なうが，この操作は，補助台車に取付けられた連結桿吊上機を利用して行なわれる。また駆動レバーとの結合は，直径95mmの軸の嵌合によって行なう。

駆動レバーは，油圧シリンダの直線運動を連結桿に回転運動として拡大伝達するものである。上下軸間の距離は2.800m，その中点に油圧シリンダとの結合部があり，シリンダの動きは2倍に拡大されて連結桿に伝達される。

8-2-4 油圧装置

油圧機械のうち主なるものは，主油ポンプ，補助油ポンプ， 10μ フィルタ，アキュムレータ，電気油圧サーボ弁，油圧シリンダ，各種弁類，圧力計，温度計，油冷却器，冷却水ポンプ等である。油圧装置の配管および制御系統の概略を図8-3に示す。

8-2-4-1 主油ポンプ

主油ポンプは，フレキシブルカップリングを介してその駆動軸が主電動機直結された片偏心可変容量型ポンプで，装置の動力源である。電動機の回転運動はコンロッドの付いた駆動軸によりシリンダに同期的に伝達されるが，シリンダが駆動軸と同一平面上にある

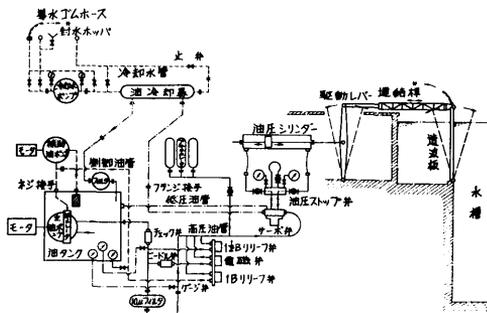


図 8-3 造波装置配管制御系統

場合には，駆動軸の回転はピストンのストロークとなって現われることはなく，したがって油は移送されない。シリンダが駆動軸の面に対して傾斜した場合に初めて，駆動軸の回転がピストンの運動となって現われる機構になっている。流量はポンプの傾き，すなわちシリンダケーシングの傾きによって定まり，最大傾転角は 25° で，この時流量は最大となる。ポンプに付属したレギュレータは，ポンプ吐出圧力に応じてポンプの傾転角を変えて吐出油量を調整制御し，その動力油は補助油ポンプにより供給される。

型 式 川崎ブルーニングハウス，可変容量アキシャルポンプ BV-740 型
レギュレータ付，タンク内油浸式

最大吐出油量 457 l/min
最高吐出圧力 350 kg/cm²
常用最高圧力 170 kg/cm²
定格回転数 970 r.p.m.
電動機出力 110 kw

8-2-4-2 補助油ポンプ

補助油ポンプは，レギュレータによって主油ポンプの傾転角を制御する制御油を供給するためのポンプである。

型 式 川崎イモポンプ
吐 出 量 30 l/min
最高吐出圧力 15 kg/cm²
定格回転数 1450 r.p.m.
所 要 馬 力 1.8 PS

8-2-4-3 油タンク

油タンクは，文字通り油圧系の中での油のリザーバであり，その容量は 2,000 l である。タンク内の油中には，主油ポンプが取付けられているほか，油温計測用の電気抵抗式温度計，油面計，油量の異常低下を監視警報するフロート・スイッチ，戻り油フィルタ，油補給口，圧力計板，エアー・ベント等を設備する。

8-2-4-4 10μ フィルタ

造波装置の中核である電気油圧サーボ弁は制御精度上極めて微妙な構造を有し，その動作油は，純度の高い一定粘度のものでなければならない。フィルタは動作油に混入してくる種々の微粒塵埃を除去し，サーボ弁の動作を安定させるために必要なものである。

型 式 焼結金属オイルフィルタ OLWG-1200 型
常用圧力 210 kg/cm²
濾過面積 7,740 cm²

汙過精度	10 μ
流量	270 l/min
圧力降下	3 kg/cm ²
常用温度	25°C
被汙過体	ダフニ・ハイドロリックフルイド No. 52

8-2-4-5 アクムレータ

プリーツ・プラダ型アクムレータは、ポンプが供給する圧力油を一時蓄え、油圧系が必要とする時は、アクムレータ内に貯蔵して圧力油を何時でも瞬間的かつ自動的に補給して油圧を常に一定限界内に保ち、また、サーボ弁の動作による急激な負荷変動に対して、油圧系に発生する水撃を吸収緩和するためのものである。

プラダ型アクムレータは、油溜部とその内部に装備した気体溜部とからなる。

型 式	プリーツ・プラダ型アクムレータ K21-55-V型
最高使用圧力	210 kg/cm ²
常用圧力範囲	170~140 kg/cm ²
気体袋封入圧	110 kg/cm ² , N ₂ ガス
容 量	55 l
個 数	3 台

8-2-4-6 電気油圧サーボ弁

サーボ弁は、低周波発信器等の電気制御系より送られてくる入力信号を、油圧信号に変換し、油圧シリンダを制御するためのもので、油圧装置の中核である。電気部、カップリング部、油圧部の3部により構成され、電気部には筒状の永久磁石の中にその上下部を板バネで支えられたムービングコイルがある。カップリング部には電気部と油圧部を接合するパイロットリングがあり、これはムービングコイルと同様に板バネで支えられ、同時に油圧部スプールの先端に適当な隙間を設けて嵌込まれていて、ここでスプールの操作力の発生とパイロットリングによるスプールの追従が行なわれる。油圧部は通常の4方弁で、スプールの軸方向のブッシュとのラップおよび半径方向の公差はきわめて高精度で作られている。

型 式	SM 704 型
電 気 部	永久磁石ステータ、ムービングコイル式
油圧初段増幅部	リングスライダーク式
油圧出圧段増幅部	零ラップ・スプールの、スリーブ、4方向流量制御弁

要 目

定格電流	±100 mA
コイル抵抗	46.87 Ω
定格電磁力	200 g
定格流量	265 l/min (70 kg/cm ² 圧力降下時)
定格スプールのリフト	±1.0 mm
定格圧力	170 kg/cm ²
定格最大出力	60PS
使用油許容温度範囲	20~40°C
保護フィルター精度	10 μ 以下

8-2-4-7 油圧シリンダ

サーボ弁で制御された圧油によりピストンを作動せしめ、駆動レバー、連結桿を通じて造波板を駆動する。準備中あるいは故障の際に、ピストンがシリンダ端に当たった時の衝撃を緩和するため、シリンダ両端にはクッションが付けられている。

型 式	両端ロッド複動シリンダ式ト ラニオンクッション付
シリンダ内径	150 mm
ストローク	500 mm
ピストンロッド径	90 mm
最大使用圧力	210 kg/cm ²
常用圧力	170~140 kg/cm ²
有効受圧面積	113.5 cm ²
理論出力	2385 kg
ピストン移動サイクルおよびストローク	
	1.3 c/s ± 65 mm
	0.6 c/s ± 150 mm
	0.3 c/s ± 220 mm

8-2-4-8 各種弁類

油圧系の使用圧力を調整する、高圧油用 1 $\frac{1}{2}$ B リリーフ弁(バランスピストン型内部ドレン式)、制御油圧 1B リリーフ弁(バランスピストン型内部ドレン式)、通常 15 kg/cm² に設定) および電磁弁(2-ウェイ、2-ポジション、ノーマルクローズド弁)、ニードル弁(スローリターンバルブ)の他、運転停止時の油の逆流防止のためのチェック弁、その他リミットスイッチ付の各種油圧ストップ弁などがある。

8-2-4-9 圧力計

油圧が過上昇(200 kg/cm²以上)した時、あるいは過低下(100 kg/cm²)の場合に主油ポンプを自動的に停止させるため、電気式圧力指示調節計が用いられている。指示調節部は操作室内に、発信機は油タンクゲ

ージボードにあって、ブルドン管型圧力計およびトランジスタ式共振型調節計からなる。このほか、サーボ弁サブプレートにサーボ弁性能テスト用の高圧油圧力計が、ゲージボードには、主油ポンプ吐出高圧油用の高圧油圧力計、補助油ポンプ吐出制御油用の制御油圧力計がある。

8-2-4-10 温度計

油温の過上昇(40°C以上)にて主油ポンプ停止、あるいは油温の上昇低下に伴って冷却水ポンプの起動停止を自動的に行なうため、白金測温抵抗体およびトランジスタ式発信型調節計からなる、電気式温度指示調節計がある。指示調節部は操作室に、感温部は油タンク内に設置されている。

8-2-4-11 油冷却器

型式	シェルアンドチューブ式
冷却熱量	43,000 Kcal/hr
冷却面積	4.7 m ²
油流量	260 l/min
冷却水量	15 m ³ /hr (水槽水を使用)

8-2-4-12 冷却水ポンプ

冷却水ポンプは、油冷却器の冷却水を供給するのみならず、造波板の水没浮上時の給排水ポンプとしても使用する。給排水等の切換えは、弁操作によって行なう。

型式	片吸込汎用渦巻ポンプ
吐出量	15 m ³ /hr
総揚程	2 kg/cm ²
回転数	1,450 r.p.m.
モータ出力	2.2 kw

8-2-5 電気装置

造波板駆動装置として、主電動機盤、補機盤の各電源設備を機械室に設け、操作室には各機器駆動の操作盤、調整盤を配置する。電力は機械室内の電源盤より受け、操作盤より、油圧ポンプ、冷却水ポンプ等の起動運転および停止が行なえる。また、機械室に設けられた現場操作箱により、冷却水ポンプ、補助油ポンプの運転停止が現場でも行えるようになっている。

造波板の運転停止は操作室より行なうが、水槽内のトロリーを利用して、曳引車上でその起動停止を行なうこともできる。ブロック図を図8-4に示す。

8-2-5-1 主電動機、主電動機盤および補機盤

主電動機は、出力110 kW 防滴保護型誘導電動機で、主油ポンプの駆動機である。主電動機盤は3300Vの高電圧が供給され、電力ヒューズの投入により主電動

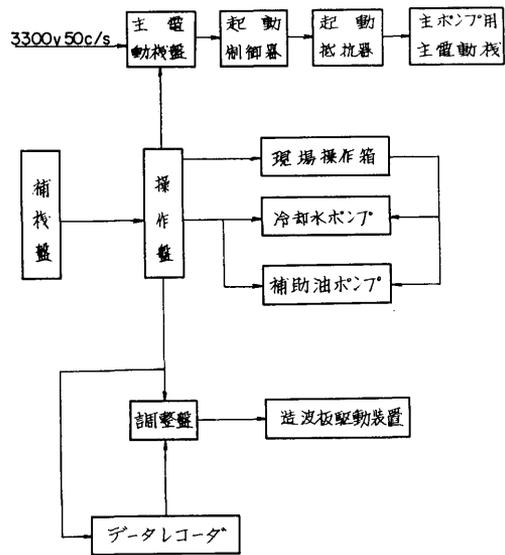


図 8-4 電気ブロック図

機電源を確立する。盤面扉内部に補助扉があって、扉に連動するリミットスイッチにより、補助扉が開いている状態では油圧ポンプが運転できない構造になっている。

補機盤は、補助油ポンプ、冷却水ポンプ等の駆動機およびそのほか電気機器の電源を確立するためのもので、220V-3φおよび110V-1φの電源を受けている。

8-2-5-2 緩起動装置

緩起動装置は、造波直後に発生する長波長の有害波を取除くためのもので、造波板の振幅を零位置から徐々に増加して規定振幅に達する装置である。規定振幅設定までの時間はダイヤルにより5秒～30秒まで任意に選定することができる。

3-2-5-3 低周波発信器

低周波発信器は、規則波発生時において、サーボ弁の入力信号となるもので、トランジスタ式正弦波発信器である。

発信周波数	0.2~2.0 c/s
周波数精度	0.2~2.0 c/s において ±(周波数目盛の1.5%+0.05 c/s) 以下
周波数安定度	電源電圧 ±10% 変動に対し ±1%以内
最大出力電圧	15 V P-P 以上 600 Ω
出力電圧安定度	電源電圧 ±10% 変動に対し ±0.2 dB 以内

信号出力	平衡または不平衡
出力インピーダンス	10Ω 以下
正弦波歪率	0.2~2.0 c/sにおいて+0.8 %以下
波長 λ(m) と周波数の関係式	$f \approx 1.25/\sqrt{\lambda}$

を用いて、ダイヤルにより、1~18m の任意の波長を設定できる。

8-2-5-4 制御増幅器

制御増幅器は、制御系のループゲインおよびリミッターを最適値に設定するとともに、命令信号の振幅、すなわち波高の設定を行なう。波高の設定は、制御増幅器の“INPUT ATTENUATOR”の10回転ヘリカルポテンショメータを回して、造波板駆動ストロークを設定することにより行なわれる。波高 H_w (m) ラックのストロークを S_P (m) とすればラックと連結桿との関係から次式が成立つ。

$$S_P = \frac{H_w}{2C(K) \frac{H}{H'} 2P'} \leq 0.144$$

ただし $H = 2.1$ m

$H' = 2.8$ m

$P' = 2.8/1.05$

$$C(K) = \frac{1}{KH} (1 - e^{-K^2 H}) - 1$$

$$K = 2\pi/\lambda$$

INPUT ATT. の目盛が 1.0 の時 S_P は最大値 144mm を採るから、ある波高に対して設定すべき ATT. の目盛 X は、上式から求まる S_P を用いて

$$X = \frac{S_P}{144}$$

とすればよい。

8-2-5-5 データレコーダ

データレコーダは、入力信号として不規則波信号を必要とする時、あるいは磁気テープに記録された規則波信号を利用する場合に用いる、全トランジスタ式可搬型データレコーダである。データレコーダは、テープ駆動機構部 MA-33、パルス幅変調方式変復調部 PWA-23 からなり、アクセサリとしてリモコン装置が付属している。

型式	MA-33, PWA-23 (Sony)
データチャンネル数	3
周波数特性	DC~100 c/s ± 1 db
信号入力	± 1 V Peak
信号出力	± 1 V Peak

信号対雑音比	50 db 以上
率歪	1.5% 以下
入力インピーダンス	5 kΩ 以上
零点漂動	1 % 以下
使用テープ	計測用 6.25 mm, 最大 7 号 形リール
ワウフラッタ	0.2 以下
音声チャンネル数	1

8-3 操 作

8-3-1 造波運転

機械室主電動機盤、補機盤および制御増幅器等の電源投入を行ない、造波板サイドストップ、駆動レバージャッキ連結ピンを外し、弁類、油圧の正常を確認して、高圧リリーフ弁の調整ハンドルを回して低油圧状態 (50 kg/cm²) にすれば、運転の準備は完了する。

次に冷却水ポンプ、補助油ポンプ、主油ポンプを順次起動し、油圧を 170 kg/cm² に設定する。この時、油温、油面、弁類等に異常がなければ、操作室内の制御増幅器によりループゲインおよび波高の設定を行ない、規則波発生であれば、通常、低周波発信器により波長の設定を行なう。緩起動時間を選定して、操作盤上の切換スイッチ、スナップスイッチを、左より順次操作すれば、操作室あるいは曳引車上より、造波運転停止を簡単に行なうことができる。

水槽室南端壁の高所には、異常発生時の警鐘付信号灯があって、造波板起動準備完了では青灯が、準備中では燈灯が、異常時には警鐘が鳴って赤灯が点灯するようになっている。また、運転時には、造波板の運動の周期に同期して青灯が点滅し、北端で装置の運転状況および周期、波長の確認をすることができる。

8-3-2 組立格納

造波板を組立てた儘放置しておくことは、装置本来からは望ましいことではあるが、静水中の諸実験で発生した波の消波効率を著しく低下させるので、造波実験終了後は、造波板、連結桿および駆動レバーの結合を解除して造波板を水没させ、連結桿を水槽室南端の天端上に格納する。造波板は、冷却水ポンプを利用して造波板導水路に封水して水没格納する。水没後の造波板の傾斜は、造波板後方の碎消波ビーチの傾斜と連続して、消波ビーチとなるよう工夫されている。

連結桿の格納は、補助台車に取付けられた3個の吊上機および水槽南部床上の吊上台車1台により行ない、再組立時の芯合せ等の労力を極力取除くように図った。

9. 計測装置

9-1 静水中試験用計測装置

9-1-1 概要

静水中試験用計測装置は、高い精度と安定性を得るため、また将来解析装置と直結することを考慮して、表示および記録をすべてデジタル化した。また、主として大型模型船について諸計測を行なう関係上、計測装置が大きくなりかつ計測床より離れた所におかれるため従来の手動操作方式は非能率的でかつ危険をとまなうので、各計測装置はできる限り自動化し、遠隔操作方式を採用した。抵抗および自航動力計、流速計、曳引車速度計等の制御盤は計測床上におかれている。その外観を写真9-1に示す。静水中試験用計測装置の容量、寸法等は、常用の模型船の長さを7ないし9m、最大の長さを15mと想定して決定された。その容量寸法等を表9-1に示す。

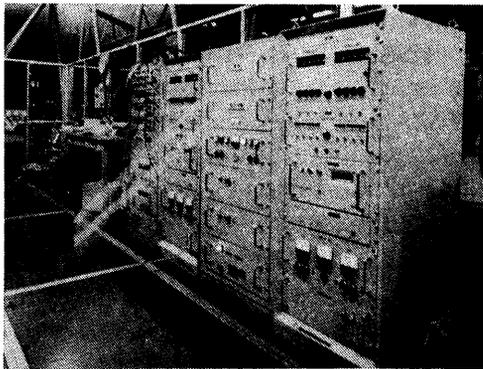
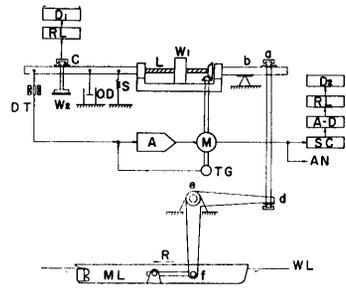


写真 9-1 制御盤



A サーボアンプ、A-D AD変換器、AN アナログ出力、D₁ 表示器1、D₂ 表示器2、DT 差動トランス、L リードスクリュー、M サーボモータ、ML 模型船、OD オイルダンパ、R 抵抗力、RL リレー回路、S スクリーニング、SC セルシン、TG タコ発電機、W₁ 送錘、W₂ 重錘、WL 水面、abcd ナイフエッジ、ef ホルバンプ。

図 9-1 抵抗動力計説明図

9-1-2 抵抗動力計

抵抗動力計の機能の概略を図9-1に、写真を写真9-2に示す。抵抗動力計には自動送錘式を採用した。天秤の不平衡を差動トランスDTで検出し、サーボモータを駆動し、ギヤを介して送錘をリードスクリューで送って自動的に平衡させる。自動平衡させる量は、大型、小型とも全容量の10%、すなわち大型抵抗動力計の場合には10kg、小型では2kgである。残りは測定量に応じて遠隔操作により重錘を掛け外しするようになっている。自動平衡用のサーボモータの回転角は、セルシンにより遠隔操作装置内のAD変換器に送られ、遠隔操作により掛けられた重錘量とともに、2秒ごとに印字される。また、サーボモータに接続したポテンシオメータによって送錘量を電圧のアナログ信

表 9-1 静水中試験用計測装置

名 称	数 量	容 量	主 要 寸 法 (長さ×幅×高さm)
大型抵抗動力計	1	100 kg	1.8 × 0.7 × 2.58
小型 "	1	20 kg	1.8 × 0.7 × 2.12
大型自航動力計	2	T=100 kg Q=8 kg/m	0.97 × 0.41 × 0.82
小型 "	3	T=20 kg Q=1 kg/m	0.76 × 0.30 × 0.57
大型プロペラ単独動力計	1	T=200 kg Q=16 kg/m	3.58 × 2.49 × 2.98
小型 "	1	T=80 kg Q=4 kg/m	2.04 × 2.49 × 2.37
較正装置	1式	大型 T=100 kg Q=8 kg/m 小型 T=20 kg Q=1 kg/m	2.20 × 0.70 × 1.40
流速計	1	0.4 (m/s) 以上	翼直径: 100 mm
トリム計付ガイド	2	±200 mm	0.50 × 0.47 × 1.70
金属製標準模型船	1		7.00 × 1.00 × 0.17 (喫水) C _B =0.57

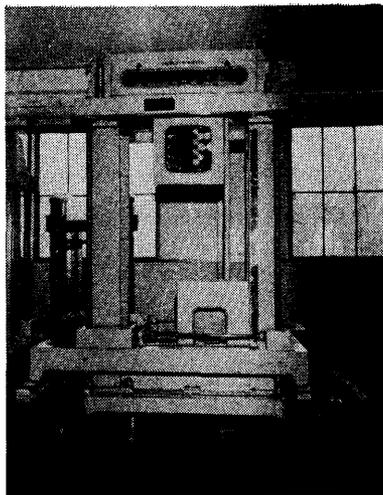


写真 9-2 抵抗動力計

号として取り出し、記録器でモニターすることが可能である。ダンパーは油式で可変となっている。天秤は軽合金製、台座は鉄製で焼鈍を行なってひずみを防いでいる。電動による昇降装置のストロークは大型の場合 1,440 mm、小型の場合 1,030 mm である。遠隔操作装置は、切り換えによって大型小型両方に兼用される。電子管を用いており、動作は安定している。またラック式で保守が容易に行なえるようになっている。

9-1-3 自航試験用動力計

自航動力計は、原理としては従来の天秤式と変わったところはない。その写真を写真 9-3 に示す。スラストは動力計のシャフトに連結されたリンクからスラストレバー（天秤）に伝わり、重錘でバランスされる。トルクはベベルギヤを介してその反力をとり出し天秤に導いている。天秤の重錘は図 9-2 に示すように自動的にかかる重錘と手で載せる重錘との 2 種類がある。

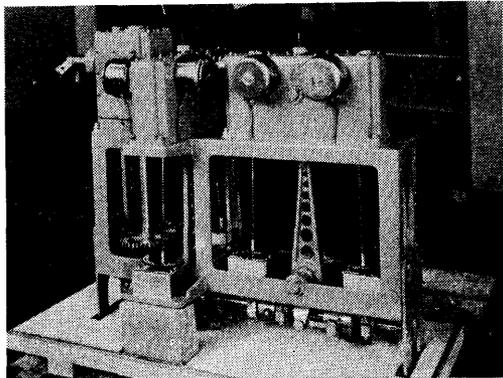


写真 9-3 自航動力計

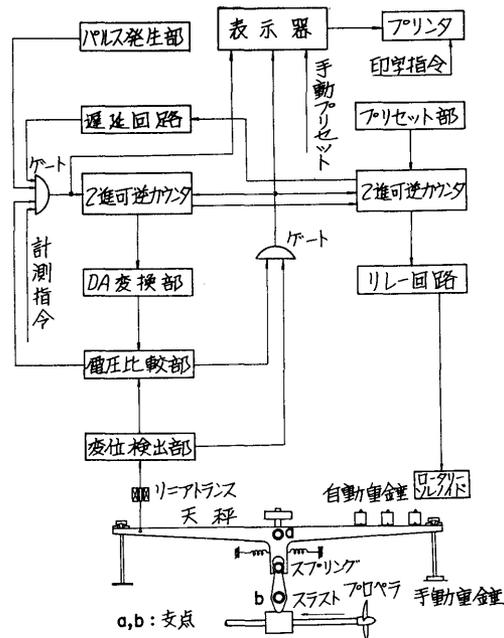


図 9-2 自航動力計説明図

天秤の偏位がある限度（容量の 3.2%）以上になると一つの可逆カウンタがオーバーフローして次の可逆カウンタに指令を送り、ロータリソレノイドが重錘をかける。天秤の偏位のデジタル化は、その偏位をリニアトランスで電圧としてとり出し、その電圧をデジタル化している。また自動重錘は、予測値付近にプリセットでき、その量は表示器に自動的に加算される。予測値が自動重錘の範囲を越える場合は、手で重錘を重錘皿に載せて表示カウンタの加算機構にプリセットしておくとも自動的に加算される。したがって表示器には、天秤の偏位量、自動重錘の量、および手で載せた重錘の量が全部加算されて表示される。表示は実荷重表示である。動力計の上部にギヤボックスを設けて減速を行なっているが、その減速比は大型で 1/4 および 1/8、小型で 1/2、および 1/4 である。

重量の軽減を計るために動力計の外測と天秤を軽合金で作ってある。模型船に搭載する場合、模型船の船側上面に懸架する方式を採用している。駆動軸と主軸との距離は大型で 650 mm、小型で 450 mm である。

駆動モータは定格 4,000 rpm 1.5 kw および 3 kw がそれぞれ 2 台あり模型船の出力に応じて使用している。主軸の回転数は 100 PPR のパルス発生器でデジタル化し、カウンタで計数してプリンタに送られる。

抵抗動力計と同様に天秤の偏位はアナログ量として

もとり出せ、変動量をモニタすることが出来る。遠隔操作装置の回路にはすべて半導体素子を用いて、回路の複雑さに比較して小型化している。抵抗動力計と同様ラック式で各ユニットの配線はプリント基板を用いているので保守が容易に行なえる。

9-1-4 プロペラ単独試験用動力計

プロペラ単独動力計の作動原理は自航動力計と全く変わったところはない。その写真を写真9-4に示す。自動重錘の重量が大きくなったためロータリソレノイドの代わりに減速器のついた直流サーボモータを使用している。ギヤ機構を収めたいわゆる長靴状の部分の流れに及ぼす影響を僅少にするために、また船後におけるプロペラ試験を行ないうるように、シャフトを長くした。そのため突出軸のベアリング機構およびスラスト、トルクの変動による振動に対して十分な注意が払われた。

プロペラをつけた状態での許容最高回転数は、大型で 1,700 rpm、小型で 2,230 rpm である。これは大型の常用回転数が約 500 rpm、小型のそれが約 900 rpm であるので、高いレイノルズ数すなわち通常のプロペラに対して $\frac{nD^2}{v} = 3 \times 10^6$ 程度まで試験可能である。

重量軽減のため長靴状部と天秤は軽合金とした。また、電動の昇降装置を備えており、シャフトの中心を大型で水面下 700 mm まで、小型で 400 mm まで下げることができる。駆動モータは、定格 3,000 rpm で 15 kw のものが大型に、5 kw のものが小型に装備されている。ギヤの減速比は大型で 1/2 および 1/4、小型で 1/1 および 3/5 となっている。

自航動力計の操作装置の一部のユニットを交換することによってプロペラ単独動力計の操作装置に変えられる。

9-1-5 較正装置

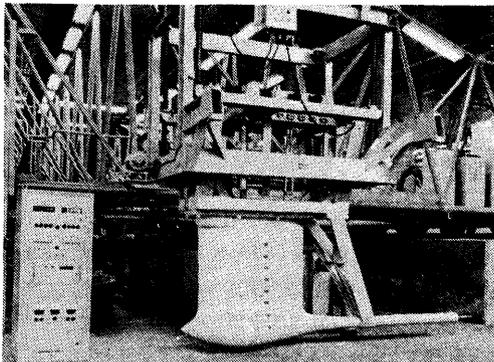


写真 9-4 プロペラ単独動力計

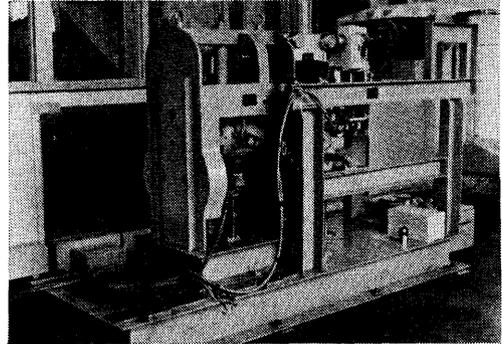
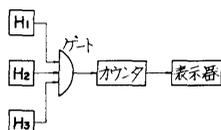
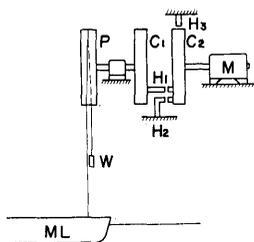


写真 9-5 較正装置 (自航動力計の較正中)

較正装置の写真を写真9-5に示す。動力計の較正装置のうち、抵抗動力計と、自航動力計のスラストの較正は、プリーリーにかけたワイヤロープの先に所定の重錘を吊して各動力計の天秤の力の作用点を水平に引いて行なっている。自航動力計のトルク較正は回転している軸を制動するときの反力で行なうわけであるが本装置では、制動の微細な調整が容易に行なえるブレーキモータを応用している。すなわちブレーキモータから水平に伸びた腕の先に所定の重錘を吊したのちブレーキモータのアマチュア電流を抵抗器で加減して制動の度合を調整している。力の平衡点の検出はストレインゲージをはった板ばねをブレーキモータに軽く接しておいて、ストレインメータで監視する。微細な調整はブレーキモータの界磁電流を加減して行なう。トルク較正装置は自航動力計とプロペラ単独動力計で共用している。

9-1-6 トリム計

トリム計は模型船のガイド装置の付属品として製作された。模型船に不用の力を与えないようにするため、トリム量を無接方式で計測できるように設計した。その原理は図9-3に示すとおりで、同期モータで回転する円板にパルス発生用の歯と、スタートパルスおよびエンドパルスを発生するための接片を埋め込んであり、別に模型船の上下変位に比例して回転するプリーと直結した円板にエンドパルス発生用のヘッドが固定してある。スタートパルス用ヘッドは台座に固定してある。上下変位が変化するにつれてプリーが回転し、したがってエンドパルス発生用ヘッドも回転し、スタートパルスによって開いたゲートはエンドパルスが来るまでの回転円板の歯数をカウンタで表示する。上下変位と歯数の関係は 1 cm に対して 10 個、すなわち 1 mm につき 1 パルスとなっている。船首尾の上下変



C₁ 円板1 C₂ 円板2 H₁ インドパルス用ヘッド、
H₂ ストランドパルス用ヘッド、H₃ クロックパルス用ヘッド、
M 同期モータ P プーリ、ML 模型船、
W 重錘、

図 9-3 トリム計説明図

位からトリム量を計算する。

プーリは伸縮の少ない糸と重錘で模型船の所定の位置の上下変位を伝えている。重錘は約 150g で、糸の下端にはそれを相殺する重錘が備えてある。カウンタおよび表示部の回路素子としては半導体が使われている。

9-1-7 流速計

本流速計は、遊転プロペラがあるきめられた回転数だけ回転する時間を計測することにより対水速度を求めており、遊転プロペラの回転数は水の電気抵抗を利用してとり出される。プロペラ軸が1回転するごとに水中で互いに近接する導体切片をインピーダンスブリッジの一边とし、そのインピーダンスブリッジの電圧、波形を整形して計数器で計数し、所定回転数を回る時間をカウンタが表示しプリントする。水の電気抵抗を利用しているためにプロペラシャフトを水潤滑とすることができ、ベアリングの水密は考えなくてよいので、ピックアップの設計製作が容易である。説明図を図 9-4 に示す。

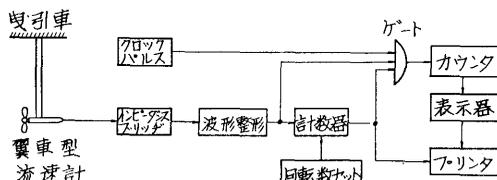


図 9-4 流速計説明図

9-1-8 翼車型伴流計

翼車型伴流計は、模型船の推進器の位置の流速分布を測定するもので、伴流計は半径の異なる4枚羽根の翼車により、各半径に沿っての平均流速を測定する。翼車は、平均半径 3cm から 3cm おきに 36cm までの11種類から成り、回転数検出器は、流速計の項で述べたごとく水の電気抵抗を利用している。発生パルス数は 10 PPR となっている。

9-1-9 摩擦修正量荷重装置

本装置は、曳引車に固定して模型船の自航試験を行なうときに摩擦修正量に相当する水平な力を模型船に与える装置である。模型船から張られたワイヤロープを(上下端部に配置したプーリにより)上端部の重錘皿に導いて、重錘により摩擦修正量相当の力がかかる構造になっている。また昇降装置も備えて、模型船の大小によらず使用できる。なお、下端部のプーリは、ポテンショメータに直結して、そのポテンショメータの生ずる電圧をペンレコーダで記録することにより船と曳引車との相対位置を監視することができる。

9-1-10 計測同期装置

以上述べた計測装置からの計測値は、デジタルプリンタで記録されるが、プリンタとの同期と計測の同時性を保つため、サンプリング信号(メモリ信号)、プリント指令、リセット信号として一つのマスタカウンタが発信する信号が使われており、すべての計測を同時に行ないうるように考慮してある。

9-1-11 陸上架台

計測機器の陸上調整を行なうために、鋼製陸上架台(大1基、小2基)を製作した。主要寸法は次の通り。

	高 (m)	幅 (m)	奥行 (m)
大	2.00	4.00	2.40
小	1.00	2.60	0.88

9-1-12 標準模型

長さ 7m の軽合金製で、その主要目は下記の通りである。

$$L_{PF}=7.000 \text{ m} \quad L/B=7.00$$

$$B=1.000 \text{ m} \quad B/d=2.40$$

$$d=0.4167 \text{ m} \quad C_B=0.575$$

主として計測器類のチェックのため 1 カ月間に 2~3 回の割合で使用される。

9-2 波浪中試験用計測装置

9-2-1 概要

波浪中模型試験用の計測装置の検出方式は、その記録の性質上からアナログ方式を採用したが、10章に述

表 9-2 波浪中試験用計測装置

名 称	数 量	容 量	主 要 寸 法 (長さ×幅×高さm)
自 航 動 力 計	2	$T=25 \text{ kg}$ $Q=0.6 \text{ kg/m}$ $N=0\sim 50 \text{ rps}$	0.46×0.135×0.16
動 揺 計	1	上 下 $\pm 300 \text{ mm}$ 縦 $\pm 30 \text{ 度}$ 前 後 $\pm 600 \text{ mm}$	1.7 × 1.0 × 1.5
規 則 波 用 ガ イ ド	1	"	1.6 × 1.0 × 1.5
波 高 計 移 動 装 置	1	移 動 距 離 2.6 m 応 答 速 度 0.8 m/s 精 度 1 %	3.0 × 0.3 × 0.6
無 接 触 型 波 高 計	2	測 定 範 囲 0~800 mm 応 答 周 波 数 0~100 Hz 精 度 0.5% ド リ フ ト 0.1% 以下 出 力 10 V 5 mA	0.8 × 0.5 × 0.45
接 触 型 波 高 計	2	測 定 範 囲 0~800 mm 応 答 周 波 数 0~100 Hz 精 度 0.3% ド リ フ ト 0.1% 以下 出 力 $\pm 10 \text{ V}$ 5 mA	0.8 × 0.5 × 0.45

べる解析装置の A-D 変換器等との関連を特に注意して設計した。アナログ記録はもちろん、本来の記録として用いられるが、そのほか磁気記録装置の監視用としても便利のように配慮してある。また試験全体の監視に便利のように、周期、振幅のデジタル表示装置を適宜接続できるように工夫した。波浪中試験用計測装置等の容量、寸法等は、通常の試験に使用される模型船の長さを最大 6m と考えて決定された。

波浪中計測機器の主なるものを表 9-2 に示す。

9-2-2 自航動力計

自航動力計の写真写真を写真 9-6 に示す。波浪中試験用自航動力計はスラストおよびトルクの検出には磁歪を用い、その出力を 0 点法で測定する方法を採用してい

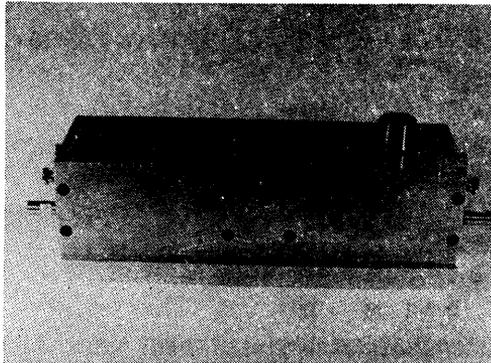


写真 9-6 波浪中試験用自航動力計

る。すなわち 0~2000 目盛のマルチダイヤルを操作して、このダイヤルの読みとりにより、平均スラスト、平均トルクを求め変動部分は記録器に記録する。また試験中にも手軽に較正がおこなえるような較正装置が付属している。

9-2-3 動揺計

動揺計の写真写真を写真 9-7 に示す。本装置は縦波中における縦揺れ、上下揺れ、前後揺れを検出記録するものであって、検出部は船体重心に結合されるようにな

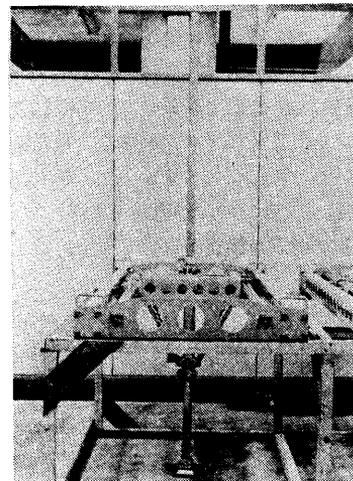


写真 9-7 動揺計

っている。船体運動に拘束をあたえることのないよう前後、上下、重心まわりの回転はもちろん左右動、横揺れにも拘束を与えないように設計される。検出は低トルクポテンシオメータによりアナログ検出をおこない、適当な増幅器を通してアナログ記録装置、A/D変換器等に記録接続されるようになっている。なお、縦揺れ、上下揺れには監視用として、デジタル振幅表示装置が付属され、前後揺れは、上下揺れと切り換えて同上装置で監視することができる。その主要目を表9-2に示す。

9-2-4 規則波用ガイド

規則波用ガイドの写真を写真9-8に示す。本装置は縦波中で模型試験がおこなえるように、船舶運動を拘束することなく、直進進路を保持させる装置で、船首、尾に取付けられる。強度は6mの模型船まで実験できるように設計されている。縦揺れ、上下揺れ、前後揺れはもちろん多少の横揺れにも拘束を与えないように工夫されている。その主要目は表9-2に示してある。

9-2-5 慣性能率測定装置

これは波浪中用模型船の重心位置および縦揺れの慣性能率を測定、調整するものであって、模型船をのせた架台を、支点のまわりに振る型式を用いている。模型船の大きさによって、3m 模型用、4.5m 模型用、6m 模型用の3架台からなっている。なおこれにはデジタル周期計を付属させて、周期が直読できるようになっている。

9-2-6 波高計移動装置

波高計移動装置の写真を写真9-9に示す。本装置は波浪中試験において、模型船が前後に移動する場合、その変化量だけ曳引車の前方に設置した波高計を移動させて、模型船と波高計の距離を常に一定に保つよう

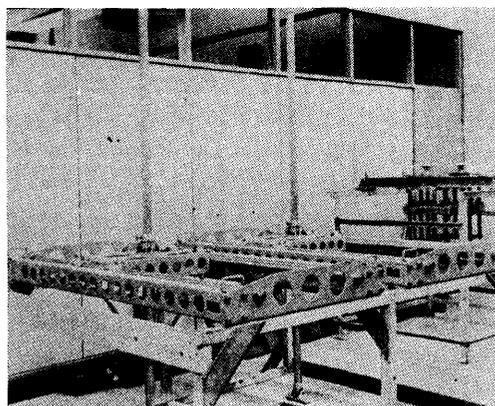


写真 9-8 規則波用ガイド

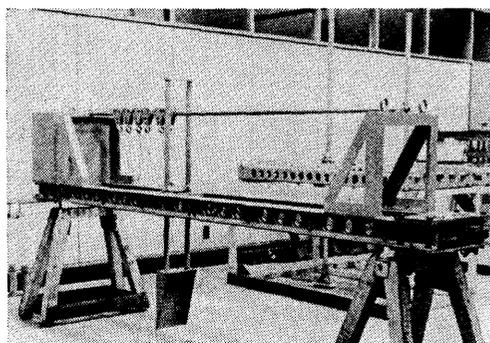


写真 9-9 波高計移動装置

にする装置である。これは7-3に述べた動揺計の前後揺の計測装置と連動するようになっている。その要目を表9-2に示す。

9-2-7 波高計

波高計としては、超音波を利用した無接触型波高計と、没水部の容量の変化を利用した接触型波高計の2型式を用い、各型式2台づつ用意されている。なお、無接触型波高計の1台は、前述の波高計移動装置に取りつけられる。主要目は表9-2に示してある。

9-2-8 記録装置

アナログ記録装置として、4chs. ペン書きオシログラフ1台ビジグラ12chs. 2台、6chs. 1台が用意されている。なお、計測結果はA-D変換器を経て磁気記録装置で記録されるようになっている。A-D変換器および磁気記録装置については、第10章の解析装置の項で説明する。

9-2-9 その他の付属計測装置

その他の付属計測装置として、加速度、応力等測定のための6chs. 動歪計1台、フィルター付直流増幅器8台、遠隔操作同時マーカー1台および16mm シネ関係品一式が用意されている。

9-2-10 VTR (Video Tape Recorder)

波浪中における船型試験等では、計測に関する記録のほかに、模型船および波の観測が重要である。小型撮影機による方法は現像に時間がかかり、詳細な変化を見るためのスローモーション撮影等の取扱いが不便であるが、この点VTRによる方法は優れている。曳引車に設備されたVTRにより、遠隔操作可能な16ミリカメラによる撮影後ただちにスローモーションまたは、静止画像として見る事ができる。

本装置はソニー株式会社製で下記の構成よりなる。
録画装置 ビデオコーダ PV-120U 1台

受像装置	ビデオモニター	PVM-119	1台
撮影装置	ビデオカメラ	PVC-101	1台
ファインダー	エレクトロニック ビューファインダー	PVM-105A	1台
ズームレンズユニット		TV-165	1組
三脚			1台
マイクホン		F-32 (600Ω)	1箇

本装置のケーブルは、曳引車床下に固定配線されているが、コネクタで遊動ケーブルを連結することにより、曳引車上の各所で操作することができるようになっている。

10. 水槽用解析設備

10-1 概要

水槽用解析設備は、三鷹第2船舶試験水槽で得られる各種の計測データを記録、読取り、整理および解析または本水槽試験の実施に関連のある一般の科学計算をおこなう目的で設置された。

水槽試験におけるデータ処理は、平水中の船型試験のように、目的とする計測量が一定値をとると思われるもの、波浪中試験のように時間的に変化する現象を扱う場合等多岐に渡っている。したがってデータ処理に関して要求される処理速度、記憶容量等の幅が広く能率のよい解析設備の設計には、水槽試験の計測法の規格化を前提としなければならない。このことから、水槽用解析設備の導入に際して、特に計測および記録方法の統一、水槽曳引車とオンラインでデータを処理することの得失、一般科学計算とデータ処理の関係等が検討され、その結果、図 10-1 に系統図を示すようなシステムが採用された。その概要を次に示す。

10-1-1 デジタル計測処理

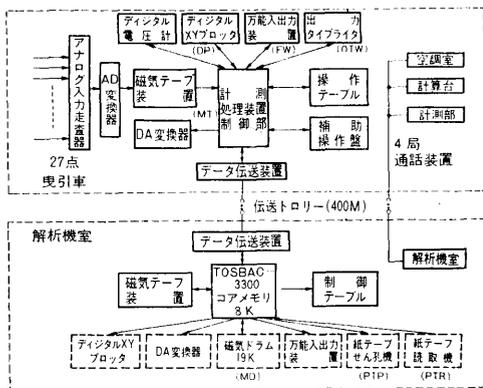


図 10-1 水槽用解析設備総系統図

平水中の船型試験のように、計測の対象がスタティックな現象である場合は、デジタル計測とし、記録器としては、デジタルプリンタを使用する。この場合、計測値としては変動には着目しないで、主として有意義な計測区間における平均値だけが対象となるが、一連のプリンタの記録から計測値(平均値)を決定する作業は、計測担当者がおこなうものとする。

計算機入力媒体としては、紙テープを利用し、曳引車上で穿孔して、原則として on-line でデータ処理する。

10-1-2 アナログ計測処理

波浪中の船型試験のように、ダイナミックな現象を扱う場合は、アナログ計測とし、ピックアップ増幅器の出力は直接に変換器を通して計測用磁気テープに記録され、計算機を用いて読み取るものとする。後に述べるように曳引車から解析機室(計算機室)へのデータの伝送速度は、1,600 ボーとしたが、この伝送速度間に合う場合には、オンラインでデータ処理し、データ量が多くて間に合わない場合は、記録された磁気テープを解析機室に運び読み取るものとする。また磁気テープ記録のほか、モニタとして電磁またはペン書のオシログラフを併用することを原則とした。

10-1-3 データ処理設備

以上のような目的に適した、データ処理システムとして、概略次のような設備を採用した。

曳引車上には、空調された一室(以下空調室と呼ぶ)を設け、ここに入出力用および出力専用のタイプライタ各1台と A-D コンバータ等アナログデータを処理する計測処理装置および磁気テープ記録器等を入れ、さらにデータ伝送装置関係の機器を搭載した。計算設備は研究棟の解析機室の中にあつて、ここには、計算機本体および通常の入出力装置のほか、曳引車からのデータの送受装置と、主として水槽で記録された磁気テープをデータ処理する目的で設置された磁気テープ装置等がある。このほか曳引車、解析室共通で利用できるデジタル X-Y プロットと A-D コンバータがあり、また解析機室、空調室および曳引車計測部の2箇所には電話連絡装置を設備して曳引車上から計算機を操作する場合の作業の補助的な役割をもたせた。

これらの設備によって、曳引車上で得られたデータは、入出力タイプライタの MTR (Mechanical Tape Reader) または磁気テープ装置を通して伝送され、解析結果は、再び曳引車上のタイプライタに印字されるようになっている。これらのデータ処理は、すべて計

算機本体の割込処理機能を利用して実施されるから、一般の科学計算を同時に行なうことも可能である。

10-2 構成と仕様

10-2-1 解析機室内機器

解析機室内の機器は、通常の科学技術用計算機としての機能のほか、曳引車上からの各種の試験データを受け取り解析して、その結果を曳引車上に伝送するために、次の制御機能をもつように構成されている。

- (1) 曳引車上のタイプライタ（単にタイプライタと呼ぶ時は、入出力タイプライタおよび出力タイプライタの両方をさしている）および磁気テープ装置からの試験データの受信
- (2) 受信したデータの解析とその結果の曳引車への送信
- (3) 曳引車上で記録された磁気テープの読み取り、および解析結果の磁気テープへの書き込み
- (4) X-Y プロッタの制御
- (5) 模型船および解析用諸定数の制御テーブル上での変更と確認
- (6) 実行プログラムのセレクト

これらの機能をもたせるために、解析機室には、計算機として東京芝浦電気(株)の TOSBAC-3300 B 型電子計算機を中心にして、下記の機器を配置した。

解析機室の写真を写真 10-1 に示す。

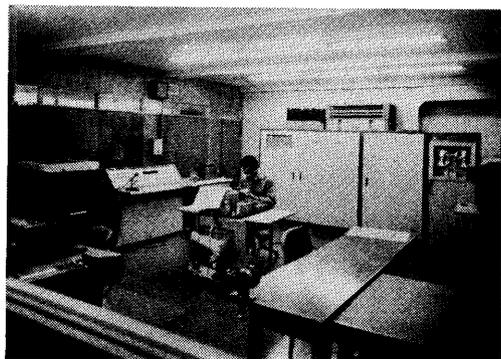


写真 10-1 解析機室

各機器の仕様を次に示す。

10-2-1-1 計算機本体 (TOSBAC-3300 B) 一式

クロック周波数 200 KC

語 構 成 1語24ビット+パリティ・ビット

数 値 語 (固定小数点) 符号(1)+数値(2)

(10進7桁弱)

(浮動小数点) 指標(12)+数値(3)+

符号(1)+フラグ(1)

命 令 語 命令部(9)+修飾部(2)+番地部(13)

演 算 速 度 (加減算) 固定 0.26 ms

浮動 0.79~1.07 ms

(乗 算) 固定 0.84~3.50 ms

浮動 3.10~8.46 ms

(除 算) 固定 3.74 ms

浮動 8.89~10.25 ms

割込み機能 割込み信号点数 15点 (実装)

優先レベル 8レベル

主記憶装置 磁芯 8,192 語

重 量 約 700 kg

外形寸法 1,760(W)×750(D)×1,595(H)mm

10-2-1-2 外部磁気ドラム記憶装置 1台

記憶容量 1語24ビットで 14,336 語

回 転 数 約 2,950 r.p.m.

待合せ時間 平均 10.2 ms

転送時間 20.3 ms

転送方法 1 track (112語) block transfer

外形寸法 900(W)×750(D)×1,595(H)mm

重 量 約 120 kg

10-2-1-3 入出カタイプライタ (Flexowriter) 1台

テープ読取速度 571 字/分

印字速度 588 字/分

穿孔速度 1,000 字/分

印字間隔 10 字/25.4 mm

改行間隔 6行, 3行, 2行/25.4 mm

キャリッジ幅 363 mm

使用テープ 8単位 (Flexowriter code)

取扱い文字 数字 10, 英字 52, 記号 20

外形寸法 1,160(W)×700(D)×1,400(H)mm

重 量 約 70 kg

10-2-1-4 テープ読取り機 1台

方 式 光電式

読取り速度 200 または 400 字/秒

テープ送り速度 0.5 または 1 m/秒

テープコード 8単位

停止距離 1mm

外形寸法 約400(W)×640(D)×1,010(H)mm

重 量 20 kg

10-2-1-5 高速テープ穿孔機 1台

紙 テ ー プ 8単位

穿孔速度 100 字/秒

穿孔密度 10 字/25.4 mm

外形寸法 約400(W)×500(D)×1,505(H)mm

重量 約 80kg

10-2-1-6 磁気テープ装置 1台

(10-2-2-3 参照のこと)

10-2-1-7 制御テーブル 1台

計算機本体と結合されて、データ伝送装置との信号の受渡し、割り込み信号の検出、入力コードの読み込みなどの制御回路を内蔵し、パネルには各種選択スイッチ、表示灯を有している。

制御テーブルの機能は、次の通りである。

- (1) あらかじめ設定された任意番地のコアメモリ20個の内容を10進数で表示変更する
- (2) ドラムに内蔵している12種のプログラムの選択とスタートを行なう
- (3) 磁気テープの内容の内から、読み出すチャンネルの選択と、書き込まれているデータの内容を電圧計に表示する
- (4) 表示灯としては、プログラムステップの指示、伝送装置の動作状態の指示、エラー等の表示を行なう

外形寸法 1,255(W)×665(D)×1,000(H)

10-2-1-8 オフラインタイプライタ (東芝自動タイプライタ) 1台

印字間隔 10字/25.4mm

改行間隔 6行, 3行, 2行/25.4mm

キャッジ幅 300mm (100文字)

外形寸法 866(W)×736(D)×760(H)mm

10-2-2 曳引車空調室内機器

空調室には、計測処理装置および操作テーブルを中心に下記の入出力装置が設置されている。この中で、10-2-2-1の入出力タイプライタと10-2-2-2の出力タイプライタは、空調室のほか曳引車計測部でも使用可能のように曳引車に固定配線してある。曳引車空調室

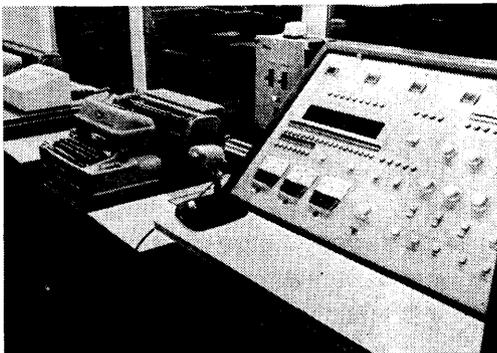


写真 10-2 曳引車空調室

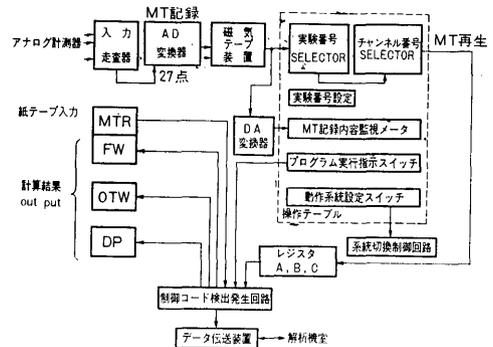


図 10-2 曳引車上、解析設備系統図

の写真写真 10-2 に示す。また曳引車上機器の系統図を図 10-2 に示す。

10-2-2-1 入出力タイプライタ (Flexowriter) 1台

11-2-1-3 と同じ。

10-2-2-2 出力タイプライタ (IBM 出力タイプライタ)

印字速度 600字/分

印字間隔 12字/25.4mm

改行間隔 6行, 3行, 2行/25.4mm

キャリッジ幅 508.0mm

取扱い文字 数字10, 英字52, 特殊記号26

(ただし、オンラインで駆動可能なキーは、数字10種、一および※記号の12種)

外形寸法 1,060(W)×630(D)×1,000(H)mm

重量 80.5kg

10-2-2-3 磁気テープ装置 (機構部は、TEAC S65236 型磁気テープ装置)

(a) ヘッド形式 インライン方式

(b) 使用テープ 1インチ幅スコッチ No. 498 相当品

(c) 使用リール 10 $\frac{1}{2}$ 径 NARTB ハブ

(d) 記録速度 40 IPS, 5 IPS 切換

(e) 再生速度 20 IPS, 10 IPS 切換

(f) トラック数 14トラック

(g) ヘッド出力 20 IPS にて 5mV 以上
10 IPS にて 3mV 以上

(h) デッキ S/N 比 20 IPS にて 25db 以上
10 IPS にて 20db 以上

(i) 記録密度 8 bit/mm

(j) 速度偏差 $\pm 0.3\%$ 以下

(k) テープスタート時間 1.5秒以下
(規定速度の90%になるまで)

- (l) テープストップ時間 1秒以下
(規定速度の10%になるまで)
- (m) 早送り巻戻し時間 2,500 フィート、テープにて2分以内
- (n) センシング検出 フォトトランジスタによる光電反射型
- (o) スキャッター $\pm 20\mu\text{s}$ 以下 (40 IPS にて)
- (p) ヘッドのインピーダンス
書込ヘッド 約 10Ω
読出ヘッド 約 $2.5\text{k}\Omega$
- (q) 記録増幅器
入力インピーダンス $5\text{k}\Omega$ 以上
出力レベル 0, -12V 正パルス
記録方式 NRZ 方式
- (r) 再生増幅器
出力インピーダンス $5\text{k}\Omega$ 以下
出力レベル 0, -12V 正パルス
- (s) 外形寸法 $630(\text{D})\times 690(\text{W})\times 472(\text{H})\text{mm}$

10-2-2-4 計測処理装置 1台

主な機能は、次の通りである。

- (1) 曳引車に設置された計算機入出力装置の動作制御
- (2) アナログ計測データの磁気テープ装置への記録に関する処理 (このために、入力走査器、A-D変換器、D-A変換器、デジタル電圧抵抗計の各きょう体を収容している)
- (3) タイプライタおよび磁気テープ装置のデータ送信
- (4) タイプライタおよび X-Y プロッタ用データの受信と印字制御

各部の性能は、次の通りである。

- (a) 入力走査器
- チャンネル数 高速 8, 低速 19
- 切換素子 ダイオード
- 切換速度 $5\mu\text{s}$ 以内
- 入力信号 $0\sim\pm 5.12\text{V}$
- 遮断時インピーダンス $1\text{M}\Omega$ 以上
- 導通時抵抗 100Ω 以下
- 走査用クロック 1.25, 2.5, 5 kc 外部切換
- 外形寸法 $480(\text{W})\times 400(\text{D})\times 150(\text{H})\text{mm}$
- (b) AD変換器
- 入力電圧 $0\sim 5.12\text{V}$
- 入力インピーダンス $50\text{k}\Omega$ 以上
- 変換方式 逐次比較方式

- 変換速度 $160\mu\text{s}$
- 変換精度 $\pm 0.1\%$ (full scale)
- 変換出力 2進10桁+符号 1bit 並列, 0V, -10V パルス
- 動作チェック 自己チェック方式
- 外形寸法 $480(\text{W})\times 400(\text{D})\times 150(\text{H})\text{mm}$
- (c) DA変換器
- 変換方式 コンダクタンス分圧式
- 入力信号 2進10桁+符号 1bit 並列
- 変換出力 $0\sim\pm 10.24\text{V}$
- 出力インピーダンス $1\text{k}\Omega$ 以下
- 変換精度 $\pm 0.3\%$ (full scale)
- 変換速度 10 ms 以下
- 外形寸法 $450(\text{W})\times 400(\text{D})\times 150(\text{H})\text{mm}$
- (d) デジタル電圧抵抗計
- 変換方式 計数式
- 測定範囲
- DC電圧 $\pm 0, 1, 10, 100, 1000\text{V}$ 切換
- AC電圧 (20 c/s \sim 20 kc) $0\sim 1, 10, 100, 1000\text{V}$ 切換
- 抵抗 $0\sim 1, 10, 100, 1000\text{k}\Omega$ 切換
- 入力インピーダンス $20\text{k}\Omega$
- 変換桁数 10進3桁+符号
- 精度 DC電圧 $\pm (0.1\%+1\text{digit})$
AC電圧 50 c/s \sim 1 kc $\pm 0.5\%$
20 c/s \sim 2.0 kc $\pm 2\%$
- 抵抗 $\pm 0.3\%$
- 変換時間 4 ms
- 外形寸法 $480(\text{W})\times 400(\text{D})\times 150(\text{H})\text{mm}$

10-2-2-5 操作テーブル

計測処理装置と結合して、曳引車上各機器の動作状態を一括して指示、監視する。また入出力タイプライタおよび出力タイプライタを曳引車計測部で使用する場合には、補助操作テーブルにより、曳引車計測部において計測処理装置が遠隔に操作できるようになっている。

操作テーブルの機能は、次の通りである。

- (1) 動作系統の設定 設定ダイヤルにより、次のように機器を接続することができる。
A-D 変換器と磁気テープ装置
操作テーブルと磁気テープ装置
磁気テープ装置と D-A 変換器
磁気テープ装置とデータ伝送装置と計算機本体
入出力タイプライタとデータ伝送装置と計算機本体

操作テーブルとデータ伝送装置と計算機本体

これらの指定によって、アナログ計測値の磁気テープ装置への記録，入出力タイプライタまたは磁気テープ装置から計算機へデータの投入，磁気テープの記録内容の監視などの動作系統を働かせることができる。

(2) プログラムの設定 運用すべき12種のプログラムの指定と，その実行制御を行なう。

(3) 磁気テープの記録および再生の制御 磁気テープへ記録または再生する場合，実験番号の設定，走査速度の設定，記録チャンネル番号の選択などを行なう。

(4) アナログ計測値の較正と監視アナログ計測器の出力をチャンネルごとに切り換えてデジタル電圧計に表示する(計測器の較正に用いる)。磁気テープ記録を再生しながら，任意の3チャンネルの内容を電圧計に表示する。

(5) 表示灯としては，各機器の動作状態，計算機の状態，計測における合図マーク，ERROR等を表示する。

外形寸法 800(W)×530(D)×1.125(H) mm

重量 92.2 kg

10-2-2-6 X-Y プロッタ (機構部は，渡辺測器製作所 WX 530 型デジタル X-Y レコーダ)

有効記録面積 250×350 mm (A 3 版)

記録ペン応答速度

±X, Y 方向 300 パルス/sec, Z 方向 5 CPS

記録ペン移動距離

0.2±0.02 mm/bit, X, Y 軸共 1,024 bit 以下

駆動パルス X, Y 軸パルス幅 50 μs 波高値-10V
Z 軸パルス幅 200 ms 波高値-10V

外形寸法 748(W)×538(D)×470(H) mm

10-2-2-7 連絡装置

曳引車の計測部2箇所(A, B局)と空調室(C局)および解析機室(D局)間の連絡をおこなう。

無選択式同時送受話方式

A, B局は，スピーカ，ハンドセットおよびブザー
C, D局は，スピーカ，マイクロホンおよびブザー
(C局だけ)

10-3 データ伝送およびデータ処理

曳引車の空調室内機器と解析機室内機器とのデータの交換は，データ伝送装置でおこなわれる。

データ伝送装置の仕様は，次の通りである。

伝送方式	半二重通信方式
伝送速度	1,600 ボー
同期方式	調歩式
回線	二線式，回線
通信電流	±100 mA
出力負荷	100 Ω
受信マージン	45% 以上
誤り検出	縦パリティチェック方式
入出力情報	13 単位
線路符号構成	16 単位
制御信号	EOB ブロック終り符号 EOT ブロック終り符号 REQ·T 送信要求 REQ·RT 再送要求

計算機からの13ビットのデータは，データの伝送装置でパリティチェックが行なわれ。パリティビットを付加し，さらに同期信号としてスタート，ストップビットを付加し，伝送回線に送り出している。

また半二重伝送方式を採用しているので，伝送装置の送受モードの切り換えを行なわなければならないが，この制御は曳引車上では制御回路により，解析機室ではモニタプログラムによって，自動的に行なわれる。

10-3-1 デジタルデータのデータ伝送と処理

10-1 概要の項でも説明したように，曳引車上ではデジタルデータは，プリンターに記録される。計測値の平均化等の処理は，計測担当がおこない，決定されたデータを紙テープにパンチレ，曳引車上の入出力タイプライタの MTR で読み取り，計算機に伝送される。データは，操作テーブルで実行が指示されたプログラム(12種類)に従って解析され，その結果は，曳引車上の入出力タイプライタまたは出力タイプライタへプリントされる。また必要に応じて X-Y プロッタに作図することも可能である。

MTR の読み取り速度は，571 字/分であるが，これがそのままデータ伝送装置に連結され，データ伝送がおこなわれる。この場合のタイミングは，MTR のアンサバックを使用している。また計算機から曳引車上のタイプライタへのプリントには，計算機から1字ずつデータを送り込み，アンサバックはとっていない。曳引車上で X-Y プロッタを使用する場合も同様の方式によっている。

また，曳引車上で計算機の任意の番地の内容を参照することができるようになっているが，これらのディ

デジタルデータの入出力は、次の擬似命令で行なうことができる。

- (1) RINT; データコードを合成して、これを整数値として、コアメモリに格納する命令
- (2) RRAL; データコードを合成して、これを浮動小数点数に変換して、コアメモリに格納する命令
- (3) WINT; コアメモリ上の任意のデータ(整数値)を曳引車上のFWにプリントする命令
- (4) WRAL; コアメモリ上の任意のデータ(浮動小数点数)を曳引車上のFWにプリントする命令
- (5) JUMP; プログラムの制御を任意の番地へ移す命令

10-3-2 アナログデータの処理

波浪中における船体の動揺の記録のように、ダイナミックな現象を記録するためには、アナログ電圧の形で計測し、AD変換器を通してデジタル化した後、磁気テープに記録するのが便利である。このために本システムでは、アナログデータを規格化して、最大電圧を $DC \pm 5.12 \text{ volt}$ とし、入力インピーダンス $50 \text{ k}\Omega$ 以上とした。AD変換器等の仕様については11-2-2項に示す通りである。

水槽試験で扱うダイナミックな現象は、通常1サイクル位の低周期のものが多く、一方にプロペラ1回転中の変動に著目する実験等では300サイクル程度の

ものもあり、記録速度に関する要求に幅が広い。このために、実験に先だって、現象の緩急に応じて高速用または低速用のチャンネルを選び、曳引車の計測処理装置に接続する。高速用は8チャンネル、低速用は19チャンネルあって、高速用は1データ当り毎秒500、250、125のサンプリングの切換え、低速用は1データ当り毎秒25、12.5、6.25のサンプリングの切換えが可能である。この速度は、入力走査器のサンプリング速度としては5kc、2.5kc、1.25kcに対応する。

記録用の磁気テープは、記録速度が、40インチ/秒および5インチ/秒の2種類に切り換えられ、記録密度は8bit/mm以内となっており、これらの関係を第10-1表に示し、磁気テープ上の記録の形式の例(波浪中試験の場合)およびサンプリングのタイミングを図10-3および図10-4図に示す。

磁気テープに記録されたデータには、計測者が有効な範囲と無効な範囲を指示することができるようになっており、有効記録の開始を合図マーク1、終りを合図マーク2としており、共に計測者がスイッチで書き込むことができる。

アナログデータは、キャリブレーションが容易にできることがしばしば重要な問題となるが、このために4桁の数字表示式の電圧計を操作テーブルにもち、アナログ計器の出力を1チャンネルごとに切り換えて表示できるようになっている。

また、磁気テープに記録されたデータが正しいかど

表 10-1 磁気テープの記録速度等

テープ記録速度 インチ/秒	Sampling 速度		記録速度 data/sec	記録間隔 mm/datum	1チャンネル当り		Bit Density bit/mm
	kc/秒	チャンネル			記録速度 data/sec	記録間隔 mm/datum	
40 (1.017 m/sec)	5	H	5000	0.2	500	2	5
		L	500	2	25	40	0.5
	2.5	H	2500	0.4	250	4	2.5
		L	250	4	12.5	80	0.25
	1.25	H	1250	0.8	125	8	1.25
		L	125	8	6.25	160	0.125
5 (0.127 m/sec)	5	H	—	—	—	—	—
		L	500	0.25	2.5	5	4
	2.5	H	—	—	—	—	—
		L	250	0.5	12.5	10	2
	1.25	H	—	—	—	—	—
		L	125	1	6.25	20	1

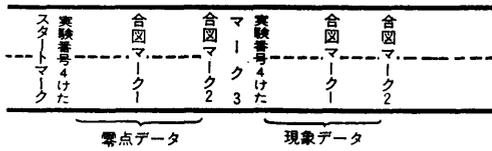


図 10-3 磁気テープ記録形式の例
(波浪中試験の場合)

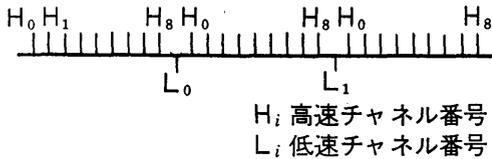


図 10-4 アナログ・データサンプリングの
タイミング解説図

うかを随時チェックするために、磁気テープ記録の再生によって得られるデジタルデータの内、任意の3チャンネルをDAコンバータを用いて電圧計に表示する機能をもっている。また記録波形をオシロスコープで見るための端子も設備されている。

磁気テープ装置に記録されたデータは、再生して計算機に伝送することができる。水槽試験のアナログデータには、プロペラのトルク、スラスト、回転数等の如く、3つのチャンネルで1組の計測となる場合が多い。このため伝送には、任意の3チャンネルが選択できるようになっており、操作テーブル上のプログラム選択ダイヤルにより、磁気テープの内容を読み出すプログラムの実行が指示されると、割り込みが発生して3つのチャンネルの内容が計算機に送られる。計算機では、プログラムの内容に応じて、処理、解析、その結果を曳引車上のタイプライタにプリントする。伝送速度は1,600 ボーで、毎秒約106データの伝送速度に相当するから、これを越える速度では再生できない(磁気テープの再生速度は、20 インチ/秒および10 インチ/秒)。

この場合、磁気テープ装置の再生開始の指示は、プログラム中で出され、データ伝送されて磁気テープ装置を自動的にスタートさせる。以後の処理は全くハードウェアによって行なわれ、まず設定された実験番号と磁気テープに記録されている実験番号との一致をとって所望のデータ群を選び、さらに任意の3チャンネルのデータを、同様に設定された内容に従って選択し、伝送するようになっている。磁気テープ装置の停止は記録されている stop code を検出して自動的に実施される。このようにして1組の実験データの解析が終ら

すると、再び計算機の指示により再生のスタートがわかり、上記の操作が繰返えされる。

記録されたデータが多くて、伝送に時間がかかり過ぎる場合は、磁気テープを解析機室に運んで、同室内の磁気テープ装置を用いて上記と同様な方法で解析、処理することができる。

10-4 解析設備の運用

この解析設備では、一般の船型試験の解析を曳引車からオンライン方式で実施するのと並行して、一科学計算も時分割で行なえるように計画した。解析設備をオンラインで使用する場合には、あらかじめ、プログラムをドラムに入れておき、必要に応じて、曳引車空調室または解析機室のコンソールのプログラム選択スイッチでプログラムを呼出して使用するようになっていいる。ドラムの容量が少ないので、loading できるプログラムには限りがあるが、通常使用するプログラムを、3つの組に分類しておき、その組内で12種のプログラムまで選択使用が可能となっている。

一般の科学計算はALGOLコンパイラ相当のALPS、アセンブラとしてSMAPおよびMINITAPを使用している。

計算機を単独で使用する場合を除いて、上記の計算は割込んで処理されるが、この場合の

- (1) 割込信号の検出と優先度の判別
- (2) 中断されるプログラムの保存、ドラムへの避難
- (3) 実行プログラムのドラムからコアへの転送
- (4) 中断されたプログラムの復元
- (5) コンパイラの読み込み、コンパイル、実行
- (6) アセンブルされたプログラムの読み込み
- (7) エラー処理

(平水中の水槽試験) (波浪中の水槽試験)

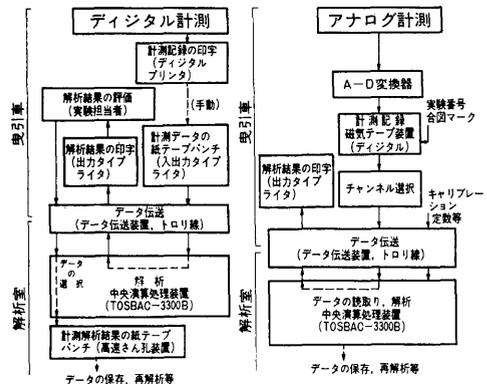


図 10-5 水槽試験解析作業基本ブロック図

等は、モニタプログラムが行なっている。

すでに説明したように、水槽用解析設備は、水槽試験におけるデータ処理を中心に計画した、電子計算設備であるが、この程度の小規模な設備に、オンラインでリアルタイムに近いデータ処理を行なうことと、一般の科学計算を並行して実施するために、十分な機能を発揮させることは容易でない。さらにこのような解析設備の能力を十分に利用したような水槽試験法および解析プログラムも未発達な状態にある。これらのことから本解析設備の運用は、水槽試験法における諸問題の一部として今後も研究の必要が感じられる。

本解析設備の製作に関連して、標準的な船型試験の解析法および波浪中試験のデータ処理に関するプログラムが検討された。この解析作業をブロック線図にして図 10-5 に示すが、これらの内容については、参考文献 22 を参照して頂きたい。なお本解析設備製作に関しては、製作者により参考文献 23 に詳説されている。

11. 工場設備

11-1 概要

水槽実験を行なうにあたって、つぎの諸目的を満足させる工場施設が整えられた。

- (1) 模型船および模型プロペラの製作
- (2) 各種計測機器の開発、改良、試作
- (3) 舵、シャフトブラケット、ビルジキール等の船体副部の製作
- (4) 一般的な木工および金属加工作業の実施
- (5) 模型船、模型プロペラなどの検査
- (6) 水槽における実験準備作業の実施

11-2 作業業務の種類

11-1 で示した目的のうち、代表的な作業業務を表 11-1 に示すように分類し、それぞれに必要な作業内容を分析し、仕事の流れを考えて、必要な工作機械類を整備した。

ろう模型船の製作



模型プロペラの製作

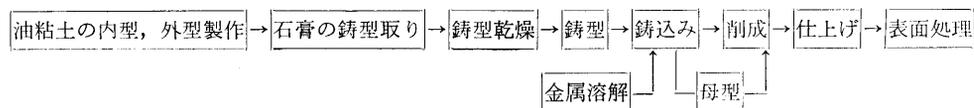


表 11-1

作業業務の種類	その内容
ろう模型船の製作	鑄造槽における粘土を使用した外型の製作、ろうの溶解、鑄込み、冷却、頂面削り、削成、仕上げ、船体副部の取付け等の作業
木製模型船の製作	素材の乾燥、素材の積層・成型・接着、粗削り、削成、仕上げ、塗装、塗装の乾燥、船体副部の取付け等の作業
模型プロペラの製作	鑄造型の成形・乾燥、素材金属の溶解、鑄込み・冷却、削成基準面の機械加工、削成、仕上げ、表面処理等の作業
一般木工作業	ろう模型船を作る場合の木型製作、船体副部の製作、その他木工の一般サービス等
一般金属加工	計測機器の製作、改良、船体副部の製作、その他金属加工の一般サービス等
検査	プロペラの寸法検査、プロペラの静的・動的釣合検査、模型船のマーキング・寸法検査
実験準備	模型船・模型プロペラ等の重量計測、脚荷重錘の積みおろし、プロペラ取付け、動力計等の取付け、模型船の姿勢調整、模型船の排水量調整等

表 11-2

模型船工場	模型船削成機、立体コージネータ (模型船寸法検査機)、ろう溶解缶、大型定盤、模型船鑄造槽、模型船冷却槽、粘土ミキサー、天井走行クレーン、模型船トップカッター、模型船吊り具、木製模型船建造台、模型船仕上台等
木工場	集塵装置、帯鋸盤、糸鋸盤、丸鋸盤、木工刃物研磨機、自動鉋、手押鉋、木工用旋盤、木工用ボール盤、等
機械工場	プロペラ翼型成形機、プロペラ鑄型乾燥炉、フライス盤、大型旋盤、汎用旋盤、形削盤、金切鋸盤、ラジアルボール盤、卓上ボール盤、フレキシブル研磨機、両頭グラインダー、両頭床上電気パフファナー、プロペラ削成機、等
プロペラ検査室	プロペラ仕上検査機、プロペラピッチ測定機、プロペラ静バランス台、プロペラ保管棚
実験準備場	天井走行クレーン、模型船重量計測装置、脚荷重錘、等

11-3 仕事の流れ

前表にかかげたうち、代表的な2つの作業について仕事の流れをつぎに示す。

11-4 工場等区分

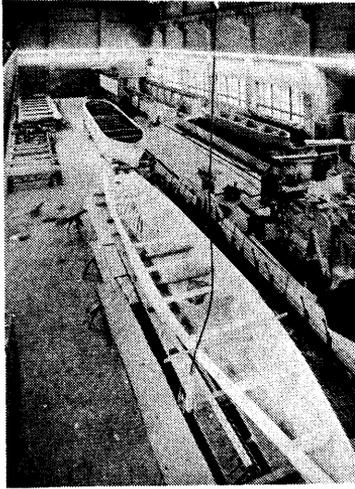


写真 11-1 模型船工場

図 3-1 に示すように、研究棟一階の北側に木工場、模型船工場を、南側に機械工場、プロペラ検査室を、水槽北端部を実験準備場とした。また、木材の自然乾燥は研究棟周辺の屋外を、木型保管は、木工場上の 2 階を、木材、ろう、粘土の貯蔵は模型船工場の倉庫を、金属材料は機械工場の倉庫を使用している。また油類、塗料は水槽の地下倉庫に貯蔵している。このうち模型船工場と機械工場をそれぞれ写真 11-1、写真 11-2 に示す。

11-5 主な設備の工場別分類

工場別に主な設備を分類して表 11-2 にかかげる。

11-6 機械等設備の概略説明

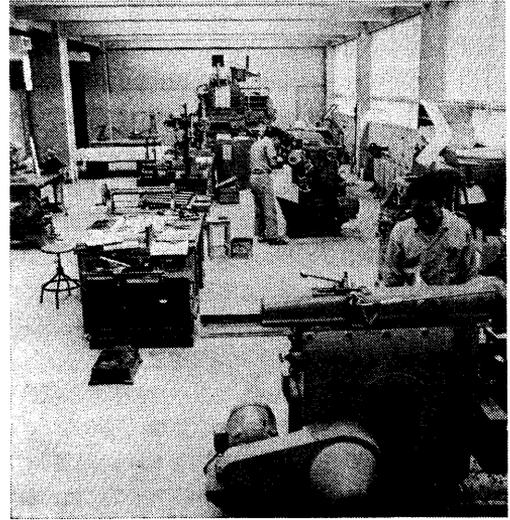


写真 11-2 機械工場

表 11-2 に示したもののうち主な機械等の設備の概略を以下にのべる。

11-6-1 模型船削成機

模型船工場の西北隅の長さ約 15m、幅 7.5m の区域に設備された。地中基礎および機械据付台は建築時にコンクリートで製作された。本機の外形図と外観を図 11-1、写真 11-3 に示す。本機の内容はつぎのとおりである。

(1) 削成できる模型船の最大寸法

長さ×幅×深さ=12.000×2.000×1.000 m

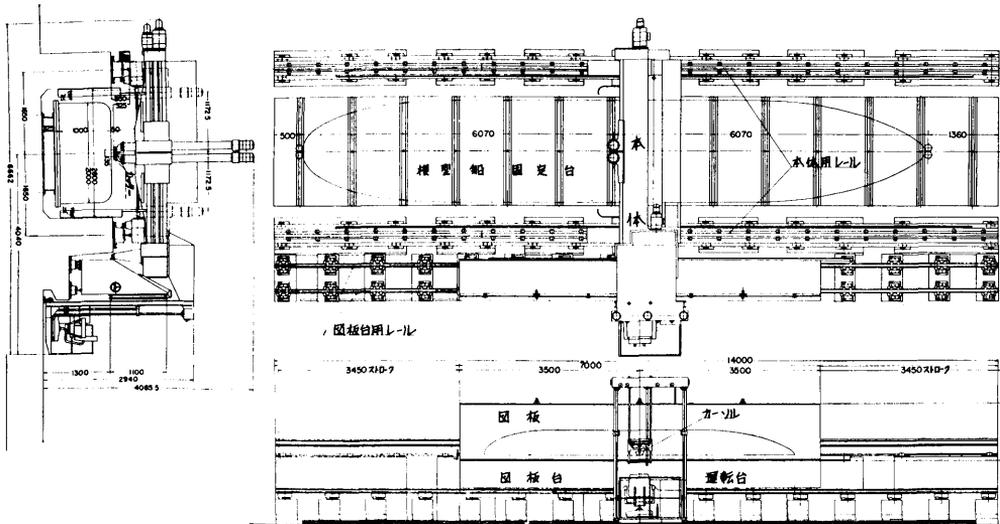


図 11-1 模型船削成機外形図

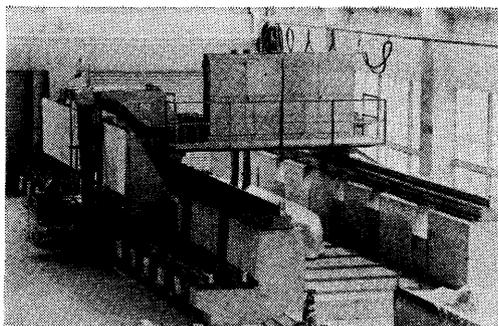


写真 11-3 模型船削成機

(2) 最大削り代

ろう製模型船の場合 約 25 mm
木製(主として檜)模型船の場合 約 10 mm

(3) 無負荷精度 (機械精度)

長さ 1.000 m に対し ±0.2 mm
12.000 m に対し ±1.0 mm
幅 1.000 m に対し ±0.2 mm
2.000 m に対し ±0.25 mm
深さ 0.500 m に対し ±0.2 mm
1.000 m に対し ±0.3 mm
船体線図の初期零位置決め精度: ±0.1 mm
自動原点戻しの位置保持精度: ±0.3 mm
カッター深さ方向自動位置決め精度: ±0.1 mm

(4) 負荷時精度 (削成精度)

長さ 6.000 m に対し ±1.2 mm
12.000 m に対し ±2.0 mm
幅 1.000 m に対し ±0.4 mm
2.000 m に対し ±0.5 mm
深さ 0.500 m に対し ±0.2 mm
1.000 m に対し ±0.3 mm

船体線図の初期零位置決め, 自動零戻し, カッター深さ方向自動位置決め各精度は(3)と同じ。

(5) 駆動源 つぎのモータによる。

本体および図板台送り用 D.C. 0.75 kw : 1 台
カッター幅方向送りおよびカーソル (船体線図追跡片) の幅方向送り用 D.C. 1.50 kw : 1 台
カッター深さ方向送り用 D.C. 0.75 kw : 1 台
カッター回転用 A.C. 100V 1φ 1.50 kw
2P 2 台
潤滑油ポンプ用 A.C. 100V 1φ
0.40 kw : 1 台

(6) カッターの直径, 回転数

カッターは 2 個あり, 模型船の両舷を対称に削成す

る。

カッター直径: 135 mmφ, 回転数: 2850 rpm

カッターとモータは直結されている。

(7) 送り速度

以下それぞれ単独運転, あるいは, 同じ方向に動くものを連動させたとき。

本体	長さ方向	無段	100~2,000 mm/min
カッター	幅方向	"	"
カッター	深さ方向	無段	100~600 mm/min
図板台	長さ方向	"	100~2,000 mm/min
カーソル	幅方向	"	"

連動は本体と図板台, カッターとカーソルの幅方向であり, 連動操作は電磁クラッチで行なわれる。

(8) 送り機構

本体長さ方向, 図板台長さ方向はラック・ピニオンによる。カッター幅方向・深さ方向, カーソル幅方向はスクルーボルトによる。

(9) 運動種別と内容

本体長さ方向送り: 模型船固定台におかれた模型船の中心に本体の中心を合わせる。

図板台長さ方向送り: 図板台にはられた船体線図の中心を本体の中心に合わせる。

カッター深さ方向送り: カッターを船底の削成面に合わせる。

カッター幅方向送り: カッター先端を船底縦方向中心線に合わせる。

カーソル幅方向送り: カーソルを船体線図の縦方向中心線に合わせる。

以上はすべて単独送り運転であり削成準備操作である。

本体の初期位置を決めるリミットスイッチの設定, カッター深さ方向位置を表示するデジタルカウンターの初期値設定, カッター深さ方向自動位置決め装置投入, 連動クラッチ投入, 送り方向の指定, カッターの回転を行なえば一つづつつまみを回転操作することによって全連動運転による削成が可能になる。

(10) 追跡線速度一定制御

カーソルで船体線図の水線を手動操作によって追跡する場合に, リゾルバーにより曲線追跡速度が一定になるように制御される。

(11) 自動原点戻し

模型船の先端まで削成し, 両舷のカッターが限界間隔に寄ると, 削成をやめ, カッターを船幅以上にひろげて, 本体を船体中央まで戻すとともに, カッターを

つぎの水線まで深さ方向に送って待期させる。これらはリミットスイッチとリレーで行なっている。なお、カッターの深さ方向位置はダイヤルによる数値設定で決められる。

(12) 拡大, 縮小機構

同一船体線図からスケールモデル, シリーズモデルを作るための機構で, これはギヤーチェンジで行なっている。ただし, シリーズモデルは L/B , L/d , B/d シリーズを対照としている。拡大, 縮小の比率は長さ, 幅, 深さともそれぞれ独立にとることが出来る。比率のとれる範囲は長さとは幅については4から12までの整数を用いて作った分数のうち $1/3 \sim 2$ の範囲である。ただし深さに対する比率は $1/3 \sim 2$ 範囲内で任意にとることが出来る。

(13) その他

削成状況はITVで常時監視する。船体中央平行部は専用カッターヘッドを用いて削成する。送り機構はすべて手動ハンドルで動かすことができる。

11-6-2 立体コージネータ 写真 11-4

模型船の寸法検査およびマーキング等に使用される。11-6-6でのべる大型定盤の長さ方向の両側面にレール定盤が2条取付けられ, レール定盤の上面とレール定盤に取付けられているレールを基準として立体コージネータが船の長さ方向に移動する。レール定盤は定盤水平面, レール, 長さ方向スケールよりなる。立体コージネータはベース, コラム, アーム, 測針, 幅方向スケール, 同副尺, 深さ方向スケール, 同副尺,

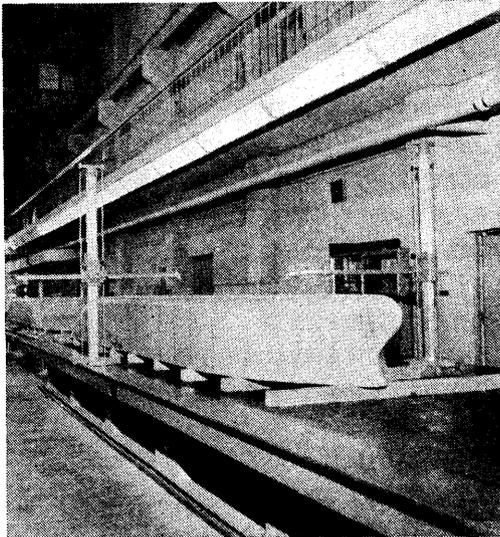


写真 11-4 立体コージネータ

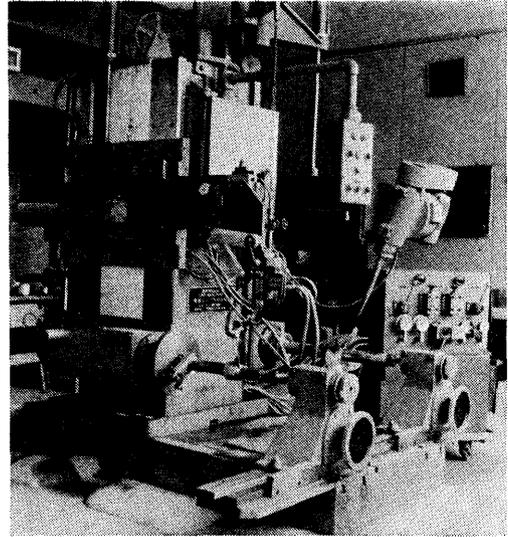


写真 11-5 模型プロペラ削成機

長さ方向スケール用副尺, 各3方向のクランプ等からなっている。各方向への移動はすべて手動であり, 船体表面上の測定点の立体座標読取りは目視で行なう。立体コージネータは2台備えられていて, 片玄づつ別個に測定が出来る。

寸法測定可能範囲 長さ 12.000 m, 幅 2.000 m,
深さ 1.300 m

読取り精度 各方向とも 1/10 mm

11-6-3 模型プロペラ削成機 写真 11-5

模型プロペラ削成機は, 縮小拡大機構を有し, 油圧做い切削を行なう専用工作機械である。

本機による切削工程の概要はつぎのとおりである。まず, プロペラ設計図に基づいて作成されたゲージプレートをもととして, 別に鋳造された母型プロペラ鋳物(通常1翼)を做い切削により削成し, 母型プロペラが製作される。つぎに, この母型プロペラを基準として, 模型プロペラ鋳物を做い切削により削成し, 模型プロペラを製作する。この際, ゲージプレートから母型プロペラまたは母型プロペラから模型プロペラえの縮率は $2/1 \sim 1/3$ の範囲で任意に選べる。すなわち本機は, 1枚のプロペラ設計図より, 任意の尺度を有する相似模型プロペラを製作し得るものである。

本機の仕様はつぎのとおりである。

模型プロペラ直径 130 mm 以上 600 mm まで
ピッチ比 0.4 以上 2.0 まで
ピッチ 52 mm 以上 1,200 mm まで
翼数 1~9

翼形	任意
ピッチ分布	任意
レーキ角	0°±20°
回転方向	右および左
縮率	2/1~1/3 の範囲で任意
カッター駆動用モータ	3φ200V 1.5kw 3,400rpm
油圧ポンプ用モータ	3φ200V 0.75kw
使用オイル	ダフニ 1035
切削精度	縮率
	2 ±7/100mm
	1 ±5/100mm
	1/3 ±3/100mm

11-6-4 模型プロペラ仕上検査機 写真 11-6

模型プロペラ仕上検査機は、模型プロペラの任意の半径位置の翼厚を計測し、その計測結果に基づき、その半径位置における翼型およびピッチを見出すものである。翼型の翼厚の計測は、模型プロペラの軸方向に行ない（ピッチ面に垂直な方向ではない）、翼型上の計測位置の設定は、模型プロペラを軸周りに回転して行なうものである。

つぎに本機の仕様を示す。

直径	最大 400 mm
ピッチ	40 mm より 800 mm まで
翼数	2枚～9枚
レーキ角	±20° 以内
回転方向	右および左 360° 回転可能
翼型	任意

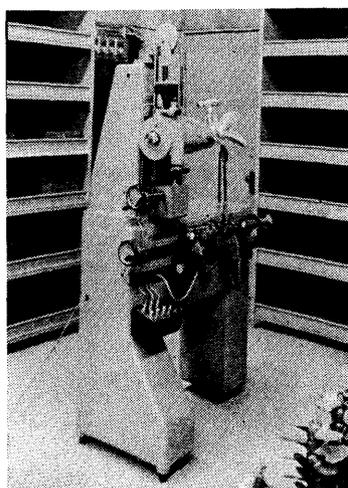


写真 11-6 模型プロペラ仕上検査機

ピッチ分布	任意
本機の精度	はつぎのとおり。
翼厚の計測値および半径の設定値	±5/100 mm
回転角の設定	±1/100 度

11-6-5 ろう溶解缶

整形、2重缶であり、2重缶には水をはり、底部から加熱して内缶のろうを間接的に加熱溶解させる。要目はつぎのとおり。

缶の寸法	外缶、内径 2,360 mm φ 板厚 9 mm
	高さ 2,850 mm
内缶	φ 2,100 mm φ 板厚 9 mm
	高さ 2,700 mm

溶解容量：5 トン/1 チャージ

使用圧力：外缶蒸気圧力 1.2 kg/cm² (水側)

内缶は開放であり大気圧 (ろう側)

加熱温度：外缶 110°C (水側)

内缶 100°C (ろう側)

である。外缶圧力に対しては安全弁を取付け、外缶温度に対しては検温器を用いて加熱装置の自動点滅制御を行なっている。加熱は重油バーナであり、燃料はB重油を使用している。点火はプロパンガスによる。炉体は耐火レンガで構築された。燃料消費量は1チャージ当り 250 l～300 l であり、1チャージに要する時間は約7時間である。通風は約 15 m 高さの煙突による自然通風である。

その他、排気扇、ろう投入装置、自動温度制御盤、重油サブタンク、重油流量計、鋳込み樋、煙道ダンパー、重油加熱器、ドレイン抜きポンプ等を備えている。

11-6-6 大型定盤

模型船のマーキング、検査等を行なうために設けられた。

定盤面寸法 12 m×2 m.

(6 m ものを2枚継ぎ合わされた)

床より定盤面までの高さ 700 mm, 定盤高さ 400 mm.

天肉厚さ 40 mm. 材質は FC-25.

定盤敷設床は地中より厚いコンクリートブロックで固められ、定盤精度の経年劣化に備えられた。表面仕上げは 6S 程度。表面に 500 mm 間隔の碁盤目に基準線が刻み込まれている。レベリングブロックは全体に分散して22カ所設けられた。表面精度は、全面にわたって 5/100 mm/m 以内であり、全体としても高低差の最大値は 1/10 mm 以内に敷設された。耐荷重は全体で 6 トン、局部集中荷重に対しては 500 kg/100 mm²

の強度をもつ。焼鈍は3回行なわれた。B精度で長さ1mのIビーム型ストレートエッジ、気泡管精度第3種感度0.1で、長さ200mmの精密角型水準器が付属されている。

11-6-7 模型船鑄造槽

本鑄造槽は、槽壁を外型の取付け面として利用され、壁頭をトップカッター用レールの敷設面として利用される。

大型1基、小型1基が設けられており、その寸法はつぎのとおりである。

大型：長さ11m、幅2m、深さ1.2m

鑄造可能な模型船長さ10mまで

小型：長さ8m、幅1.5m、深さ1.0m

鑄造可能な模型船長さ7mまで

11-6-8 模型船冷却槽

鑄造されたる製模型船は、鑄造槽内で大半は冷却されるが、完全に凝固収縮をさせるために、さらに冷却水槽に入れ1~2日放置する。また模型船表面に付着した粘土等の洗滌、模型船の反転作業も本冷却槽内で行なう。本冷却槽は工場床面に設けられており、不使用時は鋼製ぶたをして工場床として使用される。

寸法としては、長さ11m、幅2.5m、深さ2.5mである。なお、本冷却槽には給排水装置が設けられている。

11-6-9 模型船工場用天井走行クレーン

建築時に模型船工場内に設備されたもので、地上操作式のものである。主として模型船の移動用に使用される。

定格荷重5トン、スパン13.62m、揚程7.15m、

ワイヤロープ JISG 3525, B号裸普通 23種、

12φ×4本がけ×41m×1本

モータ	$\left\{ \begin{array}{l} \text{巻上} \\ \text{横行} \\ \text{走行} \end{array} \right.$	5.5 kw	4.1 m/min
		0.75 kw	20 m/min
		2.2 kw	25 m/min

電源 3φ200V

11-6-10 模型船トップカッター

鑄造模型船に削成時の基準面を作るために使用するものであり、大小両鑄造槽に兼用される。

$\left\{ \begin{array}{l} \text{レール間隔, 大鑄造槽} \\ \text{小鑄造槽} \end{array} \right.$	2.160 m
	1.660 m

カッター寸法 幅140mm、厚さ4mm、工具鋼

カッター用モータ 3φ200V, 4P 0.4kw

1.420 rpm

レール走行、幅方向移動、カッターの上下移動はい

(204)

ずれもハンドル手動式である。鑄造槽側壁頂部に敷設されたレールは水平高低差0.1mm以内である。

11-6-11 模型船吊り具

大型、長さ6.56m、ベルト(7m)4本掛け耐荷重5トン

中型、" 4.11m、" (4m)2本掛け " 2トン

11-6-12 木製模型船建造台

本建造台上で型取りされた木製素材を積層、接着、圧縮を経て木製模型船を製作する。

組立て、ねじ締式(13脚、25箇所締付け)

建造可能な模型船寸法、長さ12m、幅2m、

高さ1m

11-6-13 模型船仕上げ台

模型船削成機によって基準水線が削成された模型船を、板ゲージを使用して手仕上げするための台であり、主要寸法はつぎのとおりである。

大型 長さ10m、幅1.6m、高さ0.6m 1台

中型 " 7.5m、" 1.6m、" 0.6m 1台

小型 " 5m、" 1.6m、" 0.6m 1台

模型船の重量によって仕上げ台が撓むことのないように、鋼製骨組によって強固に製作された。なお、脚部にはキャスターが取付けられており、模型船の運搬台車、模型船重量の計量台としても使用される。

11-6-14 木工集塵装置

木作業によって生じる鉋屑、おが屑等をダクトによって直接屋外のサイロに集積処理する目的であり、吸込口は各木工機械に接続されている。

集塵用床下ダクト 延べ27m

サイクロンコレクター(屋外)

800mmφ、高さ2.7m

集塵室(屋外) 奥行1.5m、幅1.5m、高さ1.8m

木工用プレ ートファン	$\left\{ \begin{array}{l} \text{風量} \\ \text{口径} \\ \text{モータ} \end{array} \right.$	毎分65m ³ 、風圧水柱200mm
		300mm、翼車の外径550mm
		5HP(3.7kw)4P、1690rpm

11-6-15 プロペラ翼型成形機

油粘土を使って模型プロペラのピッチ面を成形するための機械であり、成形された油粘土は石膏鑄型の下型となる。

成形可能範囲	大型 直径600mm以下のもの
	小型 直径400mm以下のもの

11-6-16 プロペラ鑄型乾燥炉

温度調節器付電気空気恒温槽型で主として石膏鑄型の乾燥を行なう。

有効寸法 幅800mm、高さ1,000mm、

奥行700mm

使用温度 常温 50~80°C, 最高 150°C

電力 3φ200V, 最大消費 6kw

11-6-17 プロペラピッチ測定機

計測可能な模型プロペラの要目はつぎのとおりである。

直径: 150mm 以上 600mm 以下

ピッチ比: 0.4 以上 1.5 以下

翼数: 2 ないし 7 枚

ボス比: 0.15 以上 (ボス最小径 22.5mm)

最大展開面積比: 3 翼プロペラにたいし 1.0

ピッチの読取りはダイヤルゲージで行ないその精度は ±1/100mm である。

11-6-18 プロペラ静バランシング台

小型: 重量 4kg 以下, 直径 400mm 以下の模型プロペラに使用。プロペラ軸支持部にはミニチュアベアリングを使用している。

大型: 重量 4kg 以上 30kg 以下, 直径 400mm 以上, 700mm 以下の模型プロペラに使用。プロペラ軸支持部にはステンレススチール製の滑板を使用している。

11-6-19 実験準備場用天井走行クレーン

地上操作式であり, 建築時に実験準備場に設備された。模型船の移動, 脚荷重錘の積み下ろし, 計測機器の積み替え等に使用する。

定格荷重 5 トン, スパン 21.40m, 揚程 15.10m, ワイヤロープ JISG 3525, 13 号裸普通 Z より 3 種 12φ×4 本がけ×70m 1 本

モータ	$\left\{ \begin{array}{l} \text{巻上} \\ \text{横行} \\ \text{走行} \end{array} \right.$	5.5kw	4.1m/min
		0.75kw	20m/min
		2.2kw	25m/min

電源 3φA.C. 200V

11-6-20 模型船重量計測装置

秤量 5,000kg 最少目盛り 1kg

積載台寸法 4,000×2,400mm

型式 桿元印字付, 無錘桿式, 地中衡

休み時のクランプ付で, 粗目盛りの予測計をもつ。押ボタンによる計測重量印刷装置をもち, 風袋を打消した正味重量を印刷させる。

12. 結 言

以上述べてきたように, 予算的・時間的制約もあって, 本水槽は当初に計画したものとはならなかったが, 現時点においては, 世界に誇るべき数多くの長所を備えた水槽ということができよう。

本水槽を建設するに当っては広く各方面からの絶大なご協力を賜ったが, 特に, 貴重なご教示を賜った試験水槽委員会委員の方々, 防衛庁, 三菱重工長崎の研究所および東京, 大阪, 九州, 横浜, 防衛の各大学試験水槽の方々に厚く御礼申し上げます。また, 水槽および建屋の設計, 建設監督に当られた建設省関東地方建設局の方々, 建設に御指導, 御鞭撻を戴いた船舶技術研究所奥田前所長, 大江現所長をはじめ所内外の方々に深甚な謝意を表します。なお, 本水槽の主要な工事を担当して戴きました次の各社の方々にも厚く謝意を表します。

水槽および建屋の建設: 大木建設(株), 山陽電気工事(株), 日本理装工業(株)

曳引車, レール, 動力装置, 側面消波装置: 浦賀重工(株) [協力会社: 明電舎(株), 住友電気工業(株), 日本電気(株)]

造波装置: 川崎重工工業(株)

計測装置: 三菱重工工業(株), 大和製衡(株), 電子工業(株)

解析設備: 東京芝浦電気(株)

工場設備: 大同機械(株), 三和鉄軌工業(株), 武藤技研工業(株)

参 考 文 献

- 船舶技術研究所, 400 米試験水槽建設工事の注文要領書, 昭和 38 年 6 月
- 建設省関東地方建設局, 運輸省船舶技術研究所大型水槽施設工事仕様書, 昭和 39 年 3 月
- 建設省関東地方建設局, 大木建設(株), 船舶技術研究所三鷹第 2 船舶試験水槽建築工事原設計図および同第 2 回設計変更図, 昭和 40 年 3 月および昭和 40 年 7 月
- 船舶技術研究所, 400 米試験水槽用曳引台車等に関する仕様書, 昭和 39 年 7 月
- 横尾幸一, 鶴岡健介, 荒井能, 小川陽弘, 試験水槽用曳引車—第一水槽新曳引車について—, 運輸技研資料 No. 42, 昭和 37 年 3 月
- 古川一郎, 橋梁工学, 森北出版株式会社, 昭和 37 年 11 月
- 浦賀重工(株), 曳引台車および艀装品 (1/2), 設計計算書第 1, 2 分冊, 昭和 41 年 9 月
- 浦賀重工(株), 曳引台車および艀装品完成図第 1, 2, 3 分冊, 昭和 41 年 9 月
- 浦賀重工(株), 曳引台車および艀装品検査成績書第 1 分冊, 昭和 41 年 9 月
- 横尾幸一, 伊藤達郎, 田崎亮, 矢崎敦生, 三鷹第 2 船舶試験水槽 (400m 試験水槽), 第 7 回船舶技術研究所発表会講演概要 1966 年 11 月

- 11) 横尾幸一, 伊藤達郎, 田崎 亮, 高橋 肇, 田中 拓, 三鷹第2船舶試験水槽の建設について, 日本造船学会論文集124号, 昭和43年12月
- 12) 田崎 亮, 三鷹第2船舶試験水槽の建設および設備について, 船舶 Vol. 42, No. 1, 1969
- 13) 野本謙作, 大阪大学試験水槽の設計について, 造船協会論文集第95号, P 47~55, 昭和29年8月
- 14) 荒井 能, 船型試験水槽用曳引車速度安定装置, 自動制御 Vol. 7-4, P 2~11, 1969
- 15) 乾 崇夫他, 東京大学船型水槽曳行台車等の改新について, 造船学会論文集第123号, P 13~21, 昭和43年6月
- 16) 船舶技術研究所, 400米試験水槽造波装置設計製作仕様書, 昭和39年6月
- 17) Hamill, P. A.: "Experimental Development of a Perforated Wave Absorber of Simple Construction and Minimum Length" Mech. Eng. Report MB-252, National Research Council of Canada, May, 1963.
- 18) Healy, J. J.: "Wave Damping Effect of Beaches", Proc. of the Minnesota Inter. Hydraulics Conv., Sept., 1953.
- 19) Greslou, L. and Mahe, Y.: "Etude du coefficient de Reflexion d'une Houle sur un Obstacle Constitue par un Plan Incline", Proc. of the 5th Conf. on Coastal Eng., 1956.
- 20) 船舶技術研究所, 三鷹第2船舶試験水槽用解析設備仕様書, 昭和40年10月
- 21) 「400米試験水槽建設の記録」(記録映画)田中 拓, 上田隆康, 金田憲明
- 22) 田中 拓他, 規則波中船型試験のデータ処理に関する予備的研究, 船研報告第6巻, 第1号, 昭和44年1月
- 23) 杉森英夫他, 船舶試験水槽における模型船の計測解析装置, 東芝レビュー, 第22巻, 第2号, 昭和42年

付 録

A-1 水槽の補強工事等

A-1-1 水槽の防水工事

水槽の底盤は、長さ 20m、幅 7m、厚さ 20cm の鉄筋コンクリート製のブロックに分かれている。この各ブロックの目地には、塩化ビニール製の止水板がコンクリートの打設の際に同時に埋込まれて、これで水密が保たれている。しかし、水槽完成後しばらくして水槽水の水位の低下がはげしくなったので、潜水夫による調査の結果底部の目地に漏水があることが判明した。この防水工事を水深 8m の水中で行なうことは容易でなく、水槽の水を空にしてから実施することが望ましかった。しかし、水槽周囲に土を埋戻した後は水槽底盤が外部からの土圧と水圧と内部からの水圧との釣合いによって保たれているため、水槽を空にすることは危険であるので、潜水夫の手によって防水工事を実施する必要があった。

この防水工事は、底部の目地に粘土セメント（陶土とセメントを混ぜて水で練ったもの）をつめることから始められた。その後、この目地の上に幅 0.6m、厚さ 1mm の塩化ビニールシートを敷き、その両縁を上述と同様の粘土セメントを用いて、コンクリートの底盤に接着させた。ここでいう接着は、普通の接着剤をシートおよびコンクリート面に薄く塗って接着するような接着とは様子が全く異なって、粘土セメントの大きな塊をシートの両縁に並べて、シートをコンクリート面に圧着するという接着の方法が採られた。この結果、良好な防水効果が得られた。なお、この工事の実施前に、シートをコンクリート面に水中で接着する諸方法について予備実験が行なわれたが、コンクリートの面が水槽底では相当によごれていること、水中での作業が容易でないこと等を考えて、上述の粘土セメントによる方法が最良であるとの結論が得られた。

A-1-2 土の締め固め工事

水槽側壁の脚部は 4 列のコンクリート杭で与えられているが、側壁はその内側からの水圧と外側の土圧との釣合いにより保たれるものとして設計された。しかし、工事の実施にあたって、側壁の外側に埋戻された土の締め固めはかならずしも理想的には行なわれず、土圧が予定の大きさにならず、水圧の方が勝って、水槽壁が外側に開く傾向があらわれ、安定状態になか

なか達しなかった。したがって、レールの敷設工事を当初の予定通りに実施することができず、埋戻した土をさらに締め固める工事を実施した（昭和 40 年度）。

この締め固め工事は、直径 20cm、長さ 1.5m のコンクリート杭と砂杭（合計長さ 2.5m）を側壁の外側の埋戻し部に 1m² 当り 4 本の割合で、合計 4760 本を打込み、埋戻した土の密度を増すようにした。この際側壁の外壁には 5m ごとにパットレス（控壁）があり、その上から水槽の屋根が覆っているので、普通の杭打機を使用できないので、振動式のものが使用された。

A-1-3 支柱工事

締めかため工事により土圧の増加を計ったが、念のためにさらに、水槽側壁を補強するための支柱を設置した（昭和 41 年度）。この支柱は外径 30cm、長さ 4.5~5.6m の遠心コンクリート杭に、揚程 5cm、押上力 25 ton のジャッキを組合わせたもので、総数 90 本である。この支柱で水槽側壁のパットレスの上部を斜めに支えるような形とし、10m ごとに 1 対ずつ設置した。これの基礎として、それぞれ 2×2m の底面積をもつ、厚さ 75cm の鉄筋コンクリート製の基礎を斜めに地中に打設し、これに支柱の下端を固着した。地盤の沈下等による不釣合は、ジャッキにより調節が可能である。

A-2 チェア間隔とボギー車中点の上下移動量の関係

曳引車の走行中、ボギー車の中点は前後車輪の直下のレールの撓みにより上下方向に移動するが、チェア間隔とボギー車々輪間隔の間に最適の関係を与えれば、この上下移動量を最少にすることができるはずである。以下、最近不静定構造物の計算に盛んに使われている Hardy Cross 法*を用いて、上記最適関係を求めた。

A-2-1 1 個の集中荷量加わった場合の曲げモーメントの分布

図 A-2-1 のような連続梁においてスパンの数を無限個とする。こう束度 C 、剛度 K 、伝達係数 α とする。

* “Hardy Cross 法解説（連続梁支点モーメントの簡易計算法およびラーメンへの応用）”
船舶技研・船体構造部資料

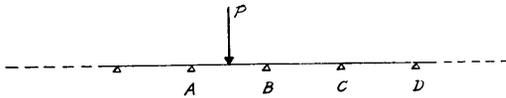


図 A-2-1 連続梁

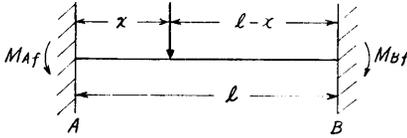


図 A-2-2 両端固定梁

$$\left. \begin{aligned} K_{BC} &= 3 + C_C \\ C_C &= \frac{K_{CD}}{4 + K_{CD}} \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

今スパンの数は無限個と考えているので、レール端部の構造は各支点に影響をおよぼさず、各支点における K, C は同じと考えてよい。すなわち

$$\left. \begin{aligned} K_{BC} &= K_{CD} = \dots\dots = K \\ C_A &= C_B = C_C = \dots\dots = C \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

図 A-2-2 のような両端固定梁を考えると、固定端モーメントは

$$\left. \begin{aligned} M_{Af} &= \frac{Px(l-x)^2}{l^2} \\ M_{Bf} &= \frac{Px^2(l-x)}{l^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

支点 A, B の支持条件を固定より単純支持とした場合に生ずる不平衡モーメントを、下に示す手順を繰り返して十分小さくなるまで計算を行なう。

Ⓐ, Ⓑの各欄の和が支点モーメントである。

すなわちモーメント M_A, M_B は

$$M_A = \frac{1}{2} M_{Af} + \frac{\lambda}{4} M_{Bf} \dots\dots (4)$$

$$M_B = \frac{1}{2} M_{Bf} + \frac{\lambda}{4} M_{Af} \dots\dots (5)$$

(3) を代入して

$$M_A = \frac{P}{4l^2} \cdot x(l-x)\{2l + (\lambda-2)x\} \dots\dots (6)$$

$$M_B = \frac{l}{4l^2} x(l-x)\{(2-\lambda)x + \lambda l\} \dots\dots (7)$$

支点モーメントがわかれば、 A, B 間のモーメントの分布は図 A-2-3 のように単純支持の場合のモーメントを加えればよい。

また A, B の隣の支点モーメントは伝達係数 α を用いて求める。

(1) より

$$\left. \begin{aligned} K &= 2\sqrt{3} = 3.4641 \\ C &= 2\sqrt{3} - 3 = 0.4641 \\ \alpha &= \frac{2C}{3+C} = 0.2680 \\ \lambda &= 2(2\sqrt{3}) = 0.536 \end{aligned} \right\} \dots\dots (8)$$

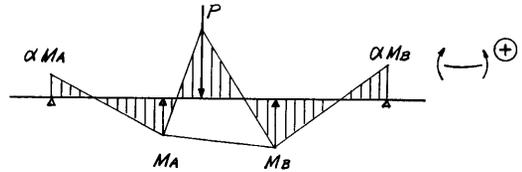


図 A-2-3 モーメントの分布

A-2-2 ポギー中点における撓み

Chair 間隔を l , ポギー車々輪間隔を L , 支点 A よりポギー中点までの距離を x とし、座標およびモーメントの符号を図 A-2-4 のようにする。図 A-2-5 に

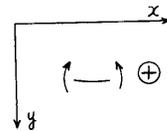


図 A-2-4 座標およびモーメントの符号

Ⓐ		Ⓑ	
分配率 $(1-\lambda)$	λ	λ	$(1-\lambda)$
固定端モーメント	$-M_{Af}$	M_{Bf}	
	$M_{Af}\lambda$	$-M_{Bf}\lambda$	
	$-\frac{1}{2}M_{Bf}\lambda$	$\frac{1}{2}M_{Af}\lambda$	
	$\frac{1}{2}M_{Bf}\lambda^2$	$-\frac{1}{2}M_{Af}\lambda^2$	
	$-\left(\frac{1}{2}\right)M_{Af}\lambda^2$	$\left(\frac{1}{2}\right)M_{Bf}\lambda^2$	
	$\left(\frac{1}{2}\right)M_{Af}\lambda^3$	$-\left(\frac{1}{2}\right)^2 M_{Bf}\lambda^3$	
	\vdots	\vdots	
			$\lambda = \frac{4}{4+K}$

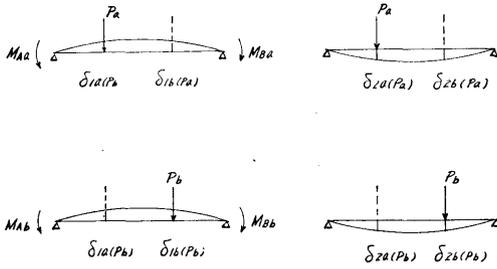


図 A-2-5 撓みおよびモーメントの定義

示すごとく、 P_a による支点モーメントによって生ずる荷重直下の撓みを $\delta_{1a}(P_a)$, $\delta_{1b}(P_a)$

P_b による支点モーメントによって生ずる荷重直下の撓みを $\delta_{2a}(P_b)$, $\delta_{2b}(P_b)$

P_a によって生ずる単純支持梁の荷重直下の撓みを

$$\delta_{2a}(P_a), \delta_{2b}(P_a)$$

P_b によって生ずる単純支持梁の荷重直下の撓みを

$$\delta_{2a}(P_b), \delta_{2b}(P_b)$$

とし、ボギー中点の撓みを δ とすると

$$\begin{aligned} 2\delta &= \delta_a + \delta_b \\ &= \{\delta_{1a}(P_a) + \delta_{2a}(P_a) + \delta_{1a}(P_b) + \delta_{2a}(P_b)\} \end{aligned}$$

$$m = \frac{L}{l}, \quad \xi = \frac{x}{l}$$

$$\xi_a = \frac{1}{l} \left(x - \frac{L}{2} \right) = \xi - \frac{m}{2}$$

$$\xi_b = \frac{1}{l} \left(x + \frac{L}{2} \right) = \xi + \frac{m}{2}$$

として、以下に数例についての式を求めてみる。

A-2-2-1 荷重が1スパン内にある場合

(図 A-2-6)

$$\begin{aligned} \delta_{1a}(P_a) &= \frac{Pl^3}{24EI} \xi_a^2(1-\xi_a)\{(4-2\lambda)\xi_a^3 + 4(\lambda-2)\xi_a^2 \\ &\quad + (8-\lambda)\xi_a - (4+\lambda)\} \end{aligned} \quad \dots\dots (10)$$

$$\begin{aligned} \delta_{2a}(P_a) &= \frac{Pl^3}{3EI} \xi_a^2(1-\xi_a)^2 \end{aligned} \quad \dots\dots (11)$$

$$\begin{aligned} \delta_{1a}(P_b) &= \frac{Pl^3}{24EI} \xi_a \xi_b(1-\xi_b)\{(4-2\lambda)\xi_a^2 \xi_b + (\lambda-2)\xi_a^2 \\ &\quad + 3(\lambda-2)\xi_a \xi_b + 6\xi_a - (\lambda-2)\xi_b - (4+\lambda)\} \end{aligned} \quad \dots\dots (12)$$

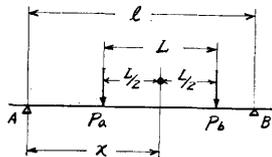


図 A-2-6 荷重が1スパン内にある場合

$$\begin{aligned} \delta_{2a}(P_b) &= \frac{Pl^3}{6EI} \xi_a(1-\xi_b)\{1-\xi_a^2 - (1-\xi_b)^2\} \end{aligned} \quad \dots\dots (13)$$

$$\begin{aligned} \delta_{1b}(P_b) &= \frac{Pl^3}{24EI} \xi_b^2(1-\xi_b)\{(4-2\lambda)\xi_b^3 + 4(\lambda-2)\xi_b^2 \\ &\quad + (8-\lambda)\xi_b - (4+\lambda)\} \end{aligned} \quad \dots\dots (14)$$

$$\begin{aligned} \delta_{2b}(P_b) &= \frac{Pl^3}{3EI} \xi_b^2(1-\xi_b)^2 \end{aligned} \quad \dots\dots (15)$$

$$\begin{aligned} \delta_{1b}(P_a) &= \frac{Pl^3}{24EI} \xi_a \xi_b(1-\xi_a)\{(4-2\lambda)\xi_a \xi_b^2 + (\lambda-2)\xi_b^2 \\ &\quad + 3(\lambda-2)\xi_a \xi_b + 6\xi_b - (\lambda-2)\xi_a - (4+\lambda)\} \end{aligned} \quad \dots\dots (16)$$

$$\begin{aligned} \delta_{2b}(P_a) &= \frac{Pl^3}{6EI} \xi_b(1-\xi_a)\{1-\xi_b^2 - (1-\xi_a)^2\} + \frac{Pl^3}{6EI} m^3 \end{aligned} \quad \dots\dots (17)$$

A-2-2-2 荷重が2支点の両側にある場合

(図 A-2-7)

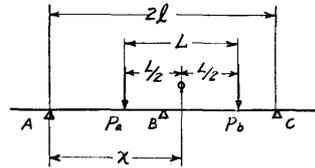


図 A-2-7 荷重が支点の両側にある場合

$$\begin{aligned} \delta_{1a}(P_a) &= \frac{Pl^3}{24EI} \xi_a^2(1-\xi_a)\{(4-2\lambda)\xi_a^3 + 4(\lambda-2)\xi_a^2 \\ &\quad + (8-\lambda)\xi_a - (4+\lambda)\} \end{aligned} \quad \dots\dots (18)$$

$$\begin{aligned} \delta_{2a}(P_a) &= \frac{Pl^3}{3EI} \xi_a^2(1-\xi_a)^2 \end{aligned} \quad \dots\dots (19)$$

$$\begin{aligned} \delta_{1a}(P_b) &= \frac{Pl^3}{24EI} (\xi_b-1)(2-\xi_b)\{2+(\lambda-2)(\xi_b-1)\} \xi_a \\ &\quad \times \{(1+\alpha)\xi_a^2 - 3\alpha\xi_a - (1-2\alpha)\} \end{aligned} \quad \dots\dots (20)$$

$$\begin{aligned} \delta_{1b}(P_b) &= \frac{Pl^3}{24EI} (\xi_b-1)^2(2-\xi_b)\{(4-2\lambda)(\xi_b-1)^3 \\ &\quad + 4(\lambda-2)(\xi_b-1)^2 + (8-\lambda)(\xi_b-1) - (4+\lambda)\} \end{aligned} \quad \dots\dots (21)$$

$$\begin{aligned} \delta_{2b}(P_b) &= \frac{Pl^3}{3EI} (\xi_b-1)^2(2-\xi_b)^2 \end{aligned} \quad \dots\dots (22)$$

$$\begin{aligned} \delta_{1b}(P_a) &= -\frac{Pl^3}{24EI} \xi_a(1-\xi_a)\{(2-\lambda)\xi_a+\lambda\}(\xi_b-1) \\ &\quad \times \{-(\alpha+1)(\xi_b-1)^2+3(\xi_b-1)-(2-\alpha)\} \end{aligned} \quad \dots\dots(23)$$

A-2-2-3 荷重が2支点の外側にある場合
(図 A-2-8)

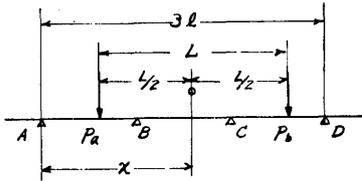


図 A-2-8 荷重が2支点の外側にある場合

$$\begin{aligned} \delta_{1a}(P_a) &= -\frac{Pl^3}{24EI} \xi_a^2(1-\xi_a)\{(4-2\lambda)\xi_a^2+4(\lambda-2)\xi_a^2 \\ &\quad + (8-\lambda)\xi_a-(4+\lambda)\} \end{aligned} \quad \dots\dots(24)$$

$$\begin{aligned} \delta_{2a}(P_a) &= \frac{Pl^3}{3EI} \xi_a^2(1-\xi_a)^2 \end{aligned} \quad \dots\dots(25)$$

$$\begin{aligned} \delta_{1a}(P_b) &= \frac{Pl^3}{24EI} (\xi_b-2)(3-\xi_b)\{2+(\lambda-2)(\xi_b-2)\}\xi_a\alpha \\ &\quad \times \{-(1+\alpha)\xi_a^2+3\alpha\xi_a-(2\alpha-1)\} \end{aligned} \quad \dots\dots(26)$$

$$\begin{aligned} \delta_{1b}(P_b) &= -\frac{Pl^3}{24EI} (\xi_b-2)^2(3-\xi_b)\{(4-2\lambda)(\xi_b-2)^2 \\ &\quad + 4(\lambda-2)(\xi_b-2)^2+(8-\lambda)(\xi_b-2)-(4+\lambda)\} \end{aligned} \quad \dots\dots(27)$$

$$\begin{aligned} \delta_{2b}(P_b) &= \frac{Pl^3}{3EI} (\xi_b-2)^2(3-\xi_b)^2 \end{aligned} \quad \dots\dots(28)$$

$$\begin{aligned} \delta_{1b}(P_a) &= -\frac{Pl^3}{24EI} \xi_a(1-\xi_a)\{(2-\lambda)\xi_a+\lambda\}(\xi_b-2)\alpha \\ &\quad \times \{(\alpha+1)(\xi_b-2)^2-3(\xi_b-2)-(\alpha-2)\} \end{aligned} \quad \dots\dots(29)$$

数値計算の結果を図 A-2-9 に示す。

図 A-2-10 よりわかるように $\xi=1, 2, \dots, \xi=0.5, 1.5, \dots$ のとき、現象は A-A' にたいして対称でなければならぬから、ボギー中点の上下方向の移動量も A-A' に対して対称でなければならぬ。

すなわち δ は $\xi=n \times 1/2$ ($n=0, 1, 2, \dots$) で極値をとる。上記の事より、ボギー中点の上下移動量を $\delta_{\xi=1/2}-\delta_{\xi=1}$ で表わす。これは図 A-2-9 よりわかるように $m=L/l$ の変化によって符号が変わる。いい

(210)

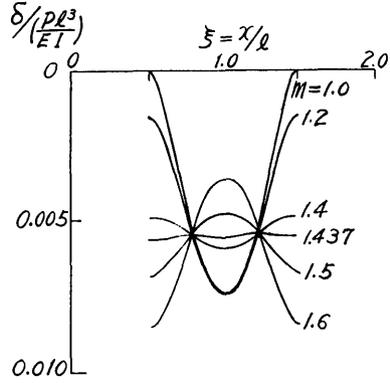


図 A-2-9 数値計算結果

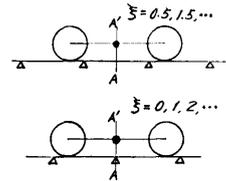


図 A-2-10 車輪とボギー中点の位置関係

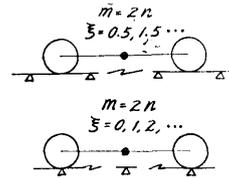


図 A-2-11 車輪とボギー中点の位置関係
($m=2n$ の場合)

かえれば、この値は零をよぎるべきである。 $m=L/l$ が非常に大きな場合には、車輪 a, b の相互干渉がなくなり、 δ_a, δ_b は chair の真上で $\max=0$ となり、中点で \min となる。

これから $L=2nl$ の時図 A-2-11 に示すように

$\xi=1$ で δ_1 は $\max(=0)$

$\xi=1/2$ で $\delta_{1/2}$ は \min

$L=(2n+1)l$ の時、図 A-2-12 示すように

$\xi=1$ で δ_1 は \min

$\xi=1/2$ で $\delta_{1/2}$ は $\max(=0)$

すなわち $m=2n$ で $(\delta_{1/2}-\delta_1)$ は負

$m=2n+1$ で $(\delta_{1/2}-\delta_1)$ は正

しかも両方の絶対値は相等しく $P_a=P_b$ が単独にかかったときの中点の変位に等しい。

これは次に示すように $0.01093 Pl^3/EI$ である。
 $L=(n+1/2)l$ のときは図 A-2-13 からわかるように $\xi=0, 1, 2, \dots, \xi=1/2, 1.5, \dots$ における上下移動量

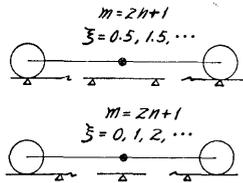


図 A-2-12 車輪とボギー中点の位置関係 ($m=2n+1$ の場合)

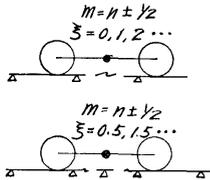


図 A-2-13 車輪とボギー中点の位置関係 ($m=n \pm 1/2$ の場合)

は相等しい。

したがって $\delta_{1/2} - \delta_1 = 0$ である。

$m=L/l=0$ の場合には

$$\delta_{1a}(P_a) = \delta_{1b}(P_b) = \delta_{1b}(P_a) = \delta_{1b}(P_b)$$

$$\delta_{2a}(P_a) = \delta_{2b}(P_b) = \delta_{2b}(P_a) = \delta_{2b}(P_b)$$

であるから

$$\delta_{1/2} - \delta_1 = \delta_{1/2} - \delta_1 = -2\{\delta_{1a}(P_a) + \delta_{2a}(P_b)\}$$

となり、これは

$$-0.02185 Pl^3/EI \text{ となる。}$$

A-2-3 $\delta_{1/2} - \delta_1$ を零にする値

以上の事を考慮して $\delta_{1/2} - \delta_1$ と $m=L/l$ の関係を図示すると、図 A-2-14 のようになる。図において点線の部分は数値計算をおこなって求めたものではない。 $1.4 \leq m \leq 1.5$ の範囲について詳細な計算によると $\delta_{1/2} - \delta_1$ を零にする m の値は 1.4365 である。

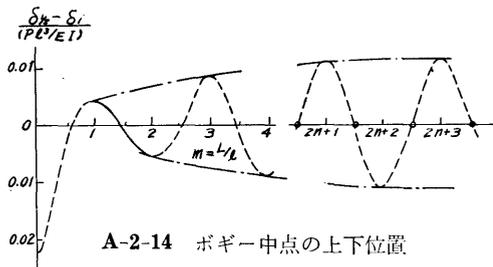


図 A-2-14 ボギー中点の上下位置

A-2-4 $m=1.4365$ の時の移動量

$m=1.4365$ の時のボギー中点の上下移動量の無次元値を中点の座標を横軸に図 A-2-15 に示す。

JNR 50 T レールにつき、 $E=2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$, $I=2.3 \times 10^7 \text{ mm}^4$, 荷重 $P=6,250 \text{ kg}$ として計算した

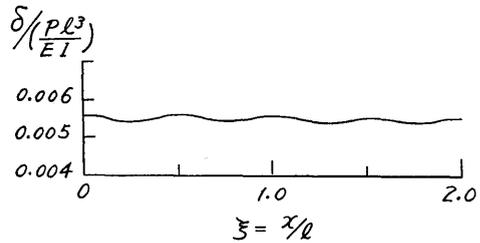


図 A-2-15 $m=1.4365$ の場合のボギー中点の変位量

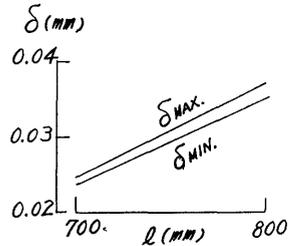


図 A-2-16 数値計算結果

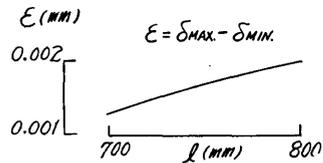


図 A-2-17 数値計算結果

移動量の max, min の値を図 A-2-16 その差、すなわち実際の上下移動量 $\delta_{max} - \delta_{min}$ を図 A-2-17 に示す。

この場合は $\delta_{1/2} - \delta_1$ は零である。このような図からわかるように $m=L/l=1.4365$ とするとボギー中点の上下移動量は単車のその 1/100 程度にすることができる。

A-3 電気関係

A-3-1 トロリー線による電圧降下

トロリー線で交流電力を送電するとき、トロリー線が長いとそのインピーダンスによる電圧降下が大きくなるが、トロリー線電圧を昇圧することによってこの影響を軽減し得る。 \dot{Z}_f を送電線のインピーダンス、 \dot{Z}_l をトロリー線のインピーダンス、 \dot{Z}_L を曳引車上の負荷インピーダンスとすると、曳引車が北端にあるときの電源負荷インピーダンス \dot{Z}_0 および曳引車が南端にあるときの電源負荷インピーダンス \dot{Z}_{400} は次式であらわされる。

$$\dot{Z}_0 = \dot{Z}_f + \dot{Z}_L$$

$$\dot{Z}_{400} = \dot{Z}_f + \dot{Z}_l + \dot{Z}_L$$

\dot{E}_s を供給電源電圧, \dot{E}_0 と \dot{I}_0 をそれぞれ曳引車が北端にあるときの曳引車上の負荷にかかる電圧および曳引車の負荷の電流とし, \dot{E}_{400} と \dot{I}_{400} をそれぞれ曳引車が南端にあるときの負荷電圧と負荷電流とすれば,

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{E}_s}{\dot{Z}_0}, \quad \dot{E}_0 = \dot{I}_0 \cdot \dot{Z}_L$$

$$\dot{I}_{400} = \frac{\dot{E}_s}{\dot{Z}_{400}}, \quad \dot{E}_{400} = \dot{I}_{400} \cdot \dot{Z}_L$$

となる。 \dot{P} を曳引車上の負荷の皮相電力, $\cos \phi$ を曳引車上の負荷の力率, \dot{I}_L を曳引車上の負荷を直接電源に接続したときに流れる電流とし, 曳引車上の負荷を3相平衡負荷とすれば

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{P}}{\sqrt{3} \dot{E}_s}, \quad \dot{Z}_L = \frac{\dot{E}_s}{\dot{I}_L}, \quad \dot{Z}_L = \cos \phi R_L \pm j \sin \phi X_L$$

となる。曳引車上の負荷 \dot{P} を 100 KVA, 力率 $\cos \phi$ を 0.8 の遅れ位相, 送電線のインピーダンス \dot{Z}_f を $(0.011 + 0.005j)\Omega$, トロリー線のインピーダンス Z_t を $(0.0812 + 0.150j)\Omega$ とする。ただし送電線は断面積 100 mm², 長さ 60 m の3芯線, トロリー線は断面積 85 mm², 長さ 400 m の剛体トロリー3本とする。

(1) $E_s = 220$ V のとき,

$E_0 \approx 217$ V, $E_{400} \approx 183$ V が得られ電圧降下量は 34 V (15.7%) となる。

(2) $E_s = 600$ V のとき,

$E_0 \approx 599$ V, $E_{400} \approx 584$ V が得られ電圧降下量は 15 V (2.5%) となる。

A-3-2 曳引車の高速走行時の時定数

風圧抵抗 R_w は速度 V_c の2乗に比例して増加すると仮定し,

$$R_w = K V_c^2 \quad \therefore \Delta R_w = 2 K V_c \Delta V_c$$

となる。高速時には, 図 6-3 の破線で示されているブロックが回路に挿入される。この時の曳引車の駆動系の伝達関数 $G_c'(s)$ は

$$G_c'(s) = \frac{\left(\frac{2\pi r a}{n K_m}\right) \cdot \beta}{1 + \beta T_c s}$$

となる。ここで, T_c は (6-6) 式の低速時の時定数であり, β は次式であらわされ, 時定数の減少率を示すものである。

$$\beta = 1 / \left\{ 1 + \left(\frac{2\pi r a}{n K_m}\right)^2 \cdot R_a \cdot 2 K V_c \cdot g \right\}$$

上式に $K = 2.71$ kg sec²/m², $V_c = 15$ m/sec および図 6-3 の数値を代入して, $\beta = 0.966$ が得られる。したがって曳引車の高速走行時 (15 m/sec) の時定数は低

(212)

速走行時よりも約 3.4% 小さい。

A-3-3 曳引車が最高速で走るときの走行時間と走行距離

曳引車が最高速で走るときの加減速時間はモータの時間定格を知るために必要であり, 加減速距離は水槽の全長と最高速の関係を検討するのに必要な資料である。

今 F_c をモータの全トルクを全車輪の水平力に換算した値 (kg) とし, W_c' を曳引車の重量 (駆動部慣性モーメントを曳引車重量に換算した値を含む) (kg) とし, α , g , R_w , R_r および, V_c を (6-1) 式または図 6-3 で規定したように定めると, 曳引車車輪がレールを滑らない加速度の範囲では

$$\alpha = \frac{dV_c}{dt} = \frac{(F - R_w - R_r)g}{W_c'}$$

である。

$$\frac{W_c'}{g} = m_c \quad \text{とおくと} \quad dt = \frac{m_c dV_c}{F_c - R_r - R_w}$$

となる。曳引車が速度 0 から $V_{c \max}$ まで加速し, さらに 0 まで減速するに要する時間 t は,

$$t = \int_{t(V_c=0)}^{t(V_c \max)} dt + \int_{t(V_c \max)}^{t(V_c=0)} dt$$

$$= m_c \int_0^{V_c \max} \frac{dV_c}{F_c - R_r - R_w}$$

$$+ m_c \int_{V_c \max}^0 \frac{dV_c}{F_c' - R_r - R_w}$$

であらわされる。ここに F_c' は減速のときのモータの全吸収トルクを車輪の水平力に換算した値である。 F_c と F_c' の符号は異なるが, その絶対値が等しく, 一定であるとすれば

$$t = m_c \left(\int_0^{V_c \max} \frac{dV_c}{F_c - R_r - R_w} + \int_{V_c \max}^0 \frac{dV_c}{-F_c - R_r - R_w} \right)$$

$$= m_c \int_0^{V_c \max} \left(\frac{1}{F_c - R_r - R_w} + \frac{1}{F_c + R_r + R_w} \right) dV_c$$

$$= \frac{2m_c}{F_c} \int_0^{V_c \max} \frac{dV_c}{1 - \{(R_r + R_w)/F_c\}^2}$$

となる。また, 加減速走行する距離 s は,

$$s = \int_{t(V_c=0)}^{t(V_c \max)} V_c dt + \int_{t(V_c \max)}^{t(V_c=0)} V_c dt$$

$$= \frac{2m_c}{F_c} \int_0^{V_c \max} \frac{V_c dV_c}{1 - \{(R_r + R_w)/F_c\}^2}$$

であらわされる。 R_r は速度に無関係とし, $R_w = K V_c^2$ とおくと,

$$t = \frac{2m_c}{F_c} \left\{ \int_0^{V_c \max} dV_c + \frac{1}{F_c^2} \int_0^{V_c \max} (R_r + K V_c^2)^2 dV_c \right.$$

$$\left. + \frac{1}{F_c^4} \int_0^{V_c \max} (R_r + K V_c^2)^4 dV_c \dots \right\}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2m_c}{F_c} \left[V_c + \frac{V_c}{F_c^2} \left(R_r^2 + \frac{2}{3} R_r K V_c^2 + \frac{1}{5} K^2 V_c^4 \right) \right. \\
&\quad \left. + \dots \int_0^{V_c \max} \right] \\
s &= \frac{2m_c}{F_c} \left\{ \int_0^{V_c \max} V_c dV_c + \frac{1}{F_c^2} \int_0^{V_c \max} V_c (R_r + K V_c^2)^2 \right. \\
&\quad \left. \times dV_c + \dots \right\} \\
&= \frac{m_c}{F_c} \left[V_c^2 + \frac{V_c^2}{F_c^2} \left(R_r^2 + R_r K V_c^2 + \frac{K^2 V_c^4}{3} \right) \right. \\
&\quad \left. + \dots \int_0^{V_c \max} \right]
\end{aligned}$$

が得られる。これらの式に、

$$F_c = 5,500 \text{ kg}, \quad W_c' = 55,000 \text{ kg}, \quad R_r = 220 \text{ kg},$$

$$K = 2.71 \text{ kg sec}^2/\text{m}^2, \quad V_c \max = 15 \text{ m/sec},$$

$$m_c = \frac{55,000}{9.8} = 5,610 \text{ kg sec}^2/\text{m}$$

を代入すると、加減速時間と距離は

$$t = \frac{2 \times 5,610}{5,500} \left[15 + \frac{15}{(5,500)^2} \left(220^2 + \frac{2 \times 220 \times 610}{3} \right. \right. \\
\left. \left. + \frac{610^2}{5} \right) + \dots \right]$$

$$\approx 30.6 \times 1.007 \approx 30.9 \text{ sec}$$

$$s = \frac{5,610 \times (15)^2}{5,500} \left[1 + \frac{1}{(5,500)^2} (220^2 + 220 \times 610 \right.$$

$$\left. + \frac{1}{3} \times 610^2) + \dots \right]$$

$$\approx 230 \times 1.01 \approx 232 \text{ m}$$

となる。なお、厳密には加速または減速中の R_r, R_w の値は定速走行時と異なるが、 F_c が大きいので、その相異を無視しても影響は小さいと考えられる。

A-4 建設工事の記録

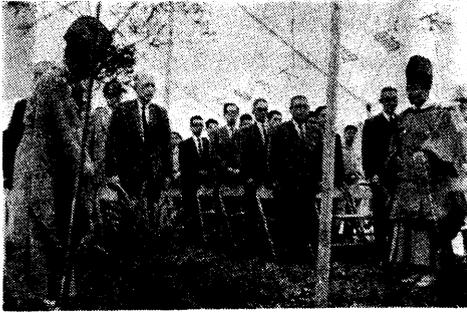
三鷹第2船舶試験水槽の建設工事に関連した資料は、下記のように保管されている。

図面類は、水槽および建屋の工事に関しては、原設計、変更図、完成図および施工図を建築、機械および電気設備別にまとめ、曳引車、造波機、解析設備、計測器等の各設備は完成図を、それぞれ1ないし3部を製本した。

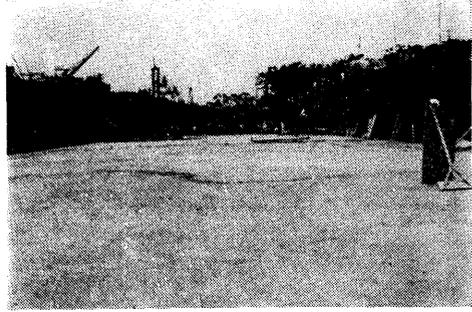
建設工程の写真も多数撮影したが、その一部を次頁の写真集に示す。

また、建設工事の記録映画「400米試験水槽建設の記録」が製作された。この映画は、16mmイーストマンコダックカラー (EKSO 216) 26巻から、若干のアニメーション、ナレーション、効果を加えて、3巻の映画(約27分)に編集したもので、一部に英文字のスーパーを使用した。

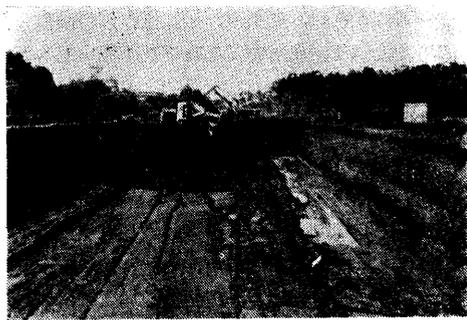
建設工事の記録



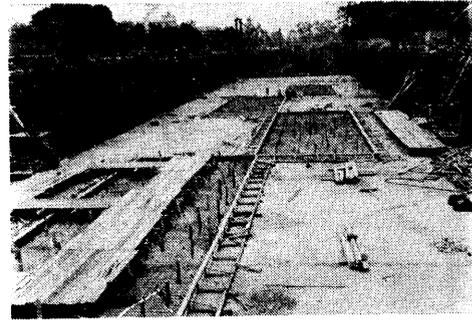
A-4-1 水槽および建屋起工式



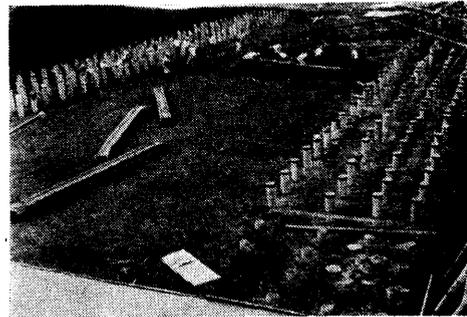
A-4-5 水槽底盤下のステコンクリート完成



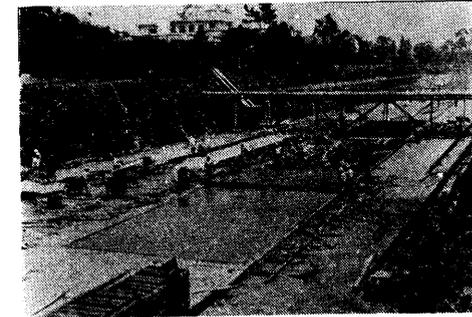
A-4-2 掘削工事



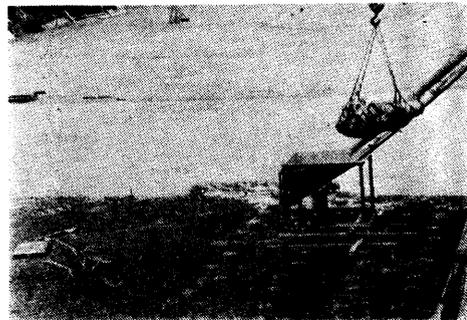
A-4-6 水槽底盤の配筋工事



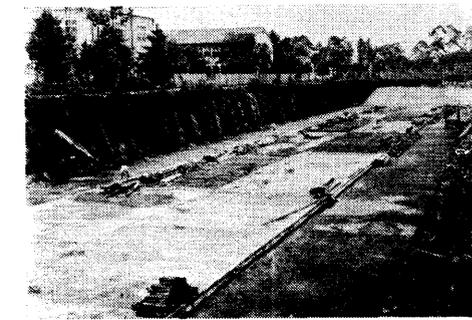
A-4-3 水槽底土の掘削工事および側壁杭



A-4-7 水槽底盤のコンクリート工事



A-4-4 ステコンクリートおよび側壁杭露出部の処理



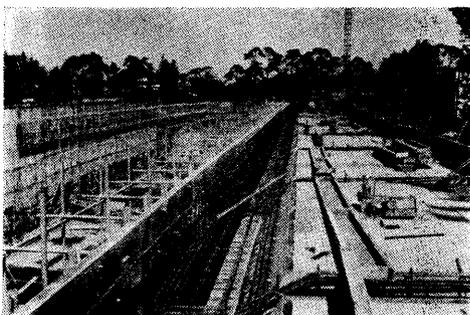
A-4-8 水槽底盤の完成（遠方は北側斜面）



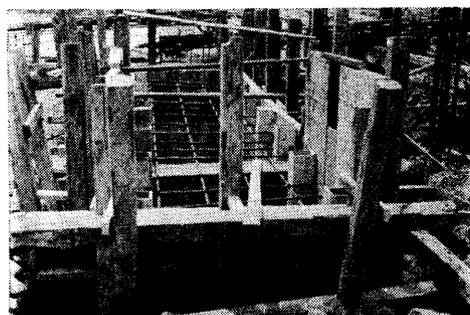
A-4-9 エキスパンジョイントの止水板



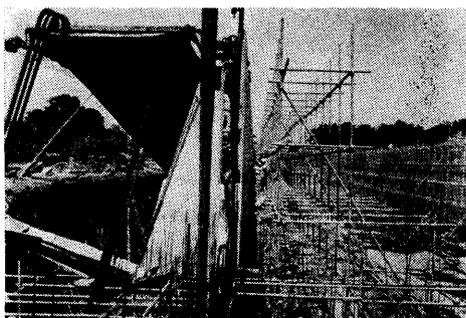
A-4-12 トリミングタンクの基礎工事



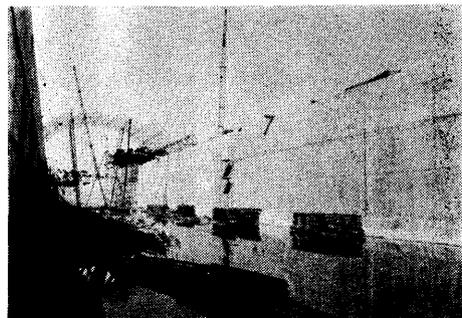
A-4-10 側壁工事（水槽通路および天端の配筋）



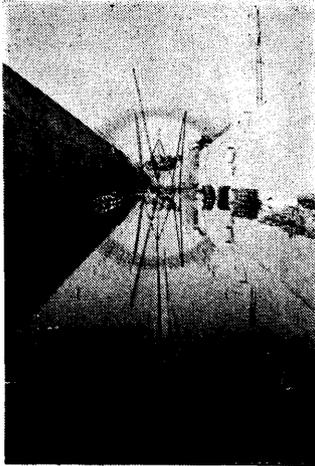
A-4-13 曳引車用MGの基礎工事



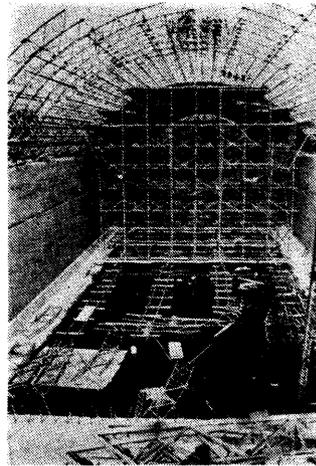
A-4-11 側壁工事（側壁のブロック継目）



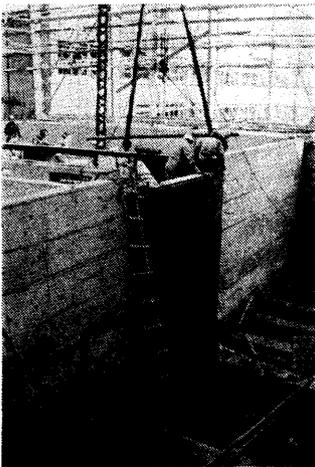
A-4-14 側壁の完成



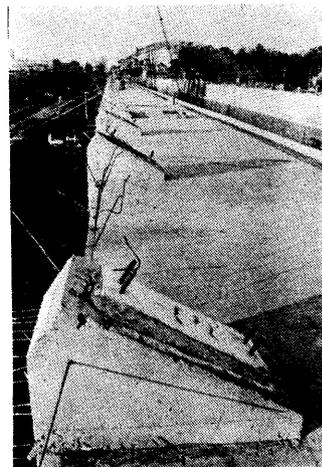
A-4-15 側壁の完成



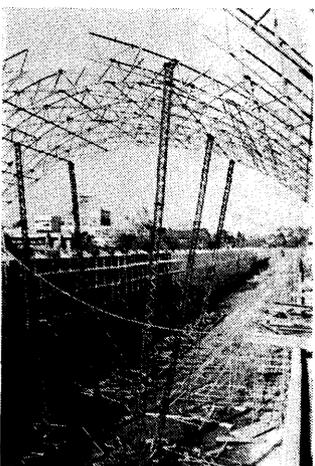
A-4-18 屋根工事



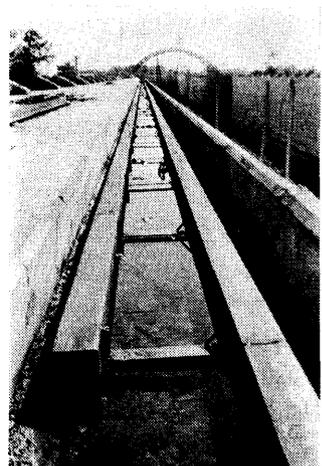
A-4-16 トリミングタンク(大)水密ドア



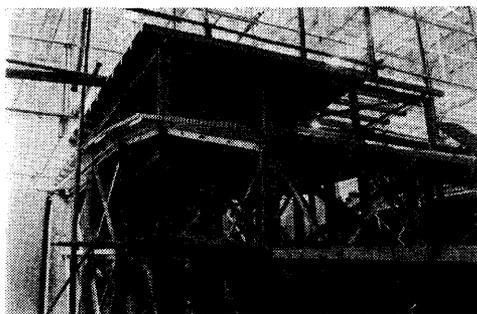
A-4-19 屋根基礎



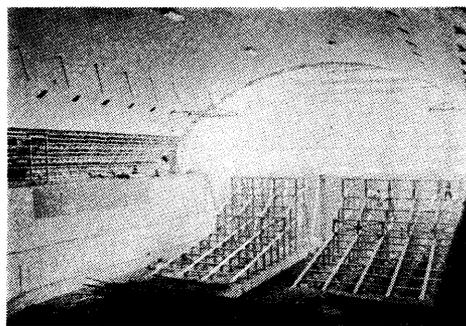
A-4-17 屋根工事



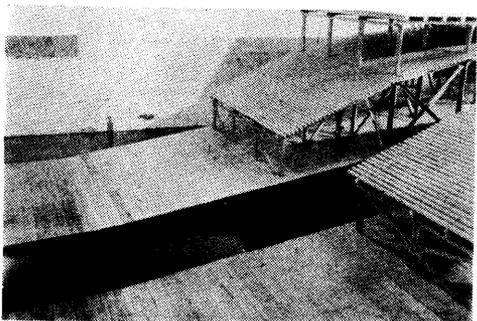
A-4-20 曳引車レール基礎



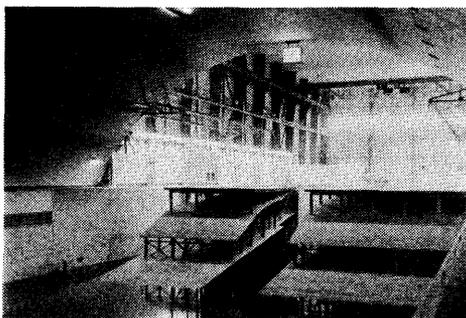
A-4-21 北側消波板



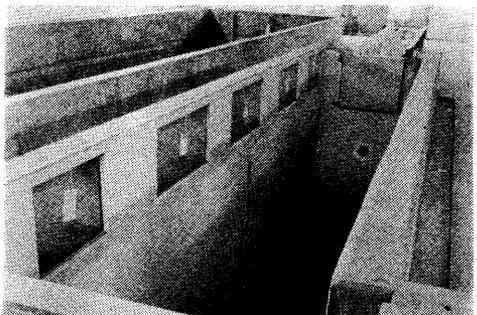
A-4-25 北側消波板



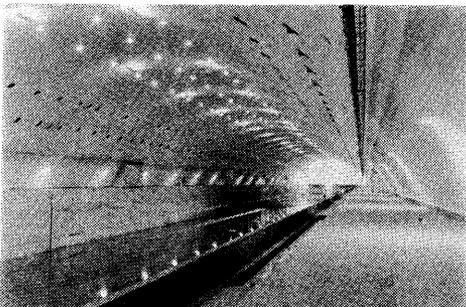
A-4-22 北側消波板



A-4-26 北側消波板



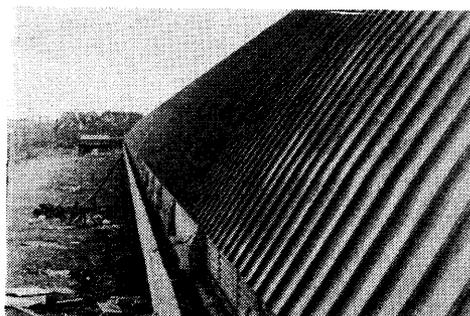
A-4-23 トリミングタンク観測窓およびトリミングタンク(小)水密ドア



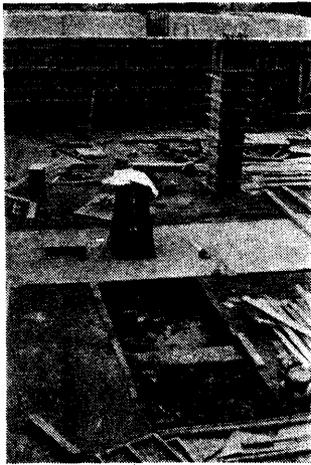
A-4-27 水槽棟内部の完成(曳引車レール, トロリー線工事前)



A-4-24 屋根工事



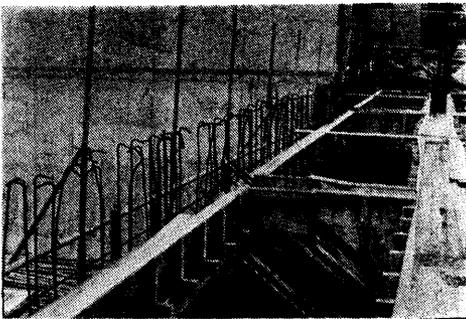
A-4-28 通風孔, 雨樋および屋根(東側)



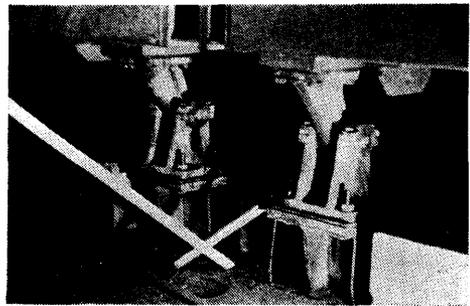
A-4-29 造波装置機械室基礎工事



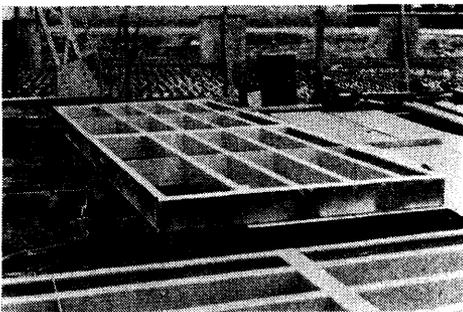
A-4-32 造波装置シリンダ受台の補強



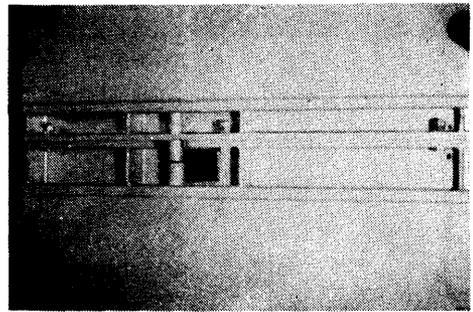
A-4-30 造波板下部軸受部基礎工事



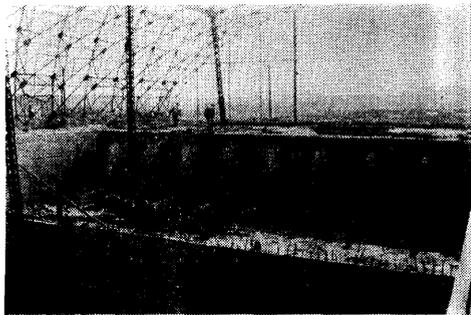
A-4-33 造波板下部軸受



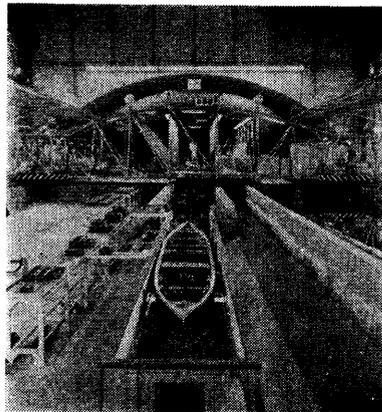
A-4-31 造波板 骨組の完成



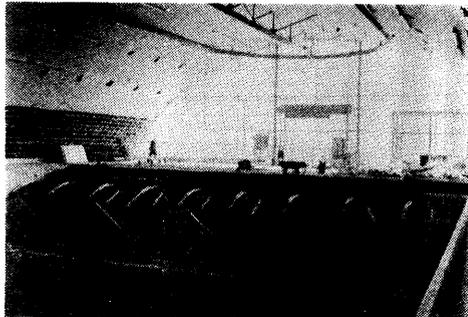
A-4-34 造波板 接合部の詳細



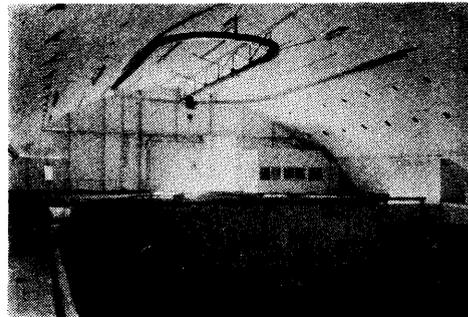
A-4-35 南端部消波装置と造波板の基礎



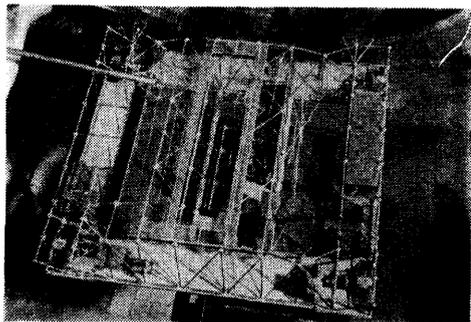
A-4-38 トリミングタンクおよび曳引車後端



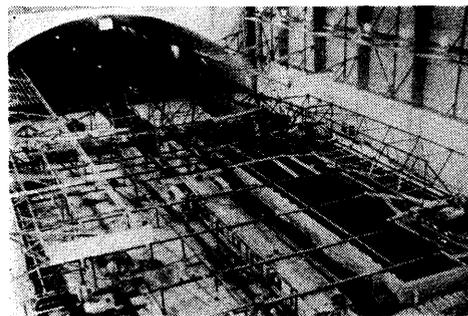
A-4-36 南端部消波装置の組立



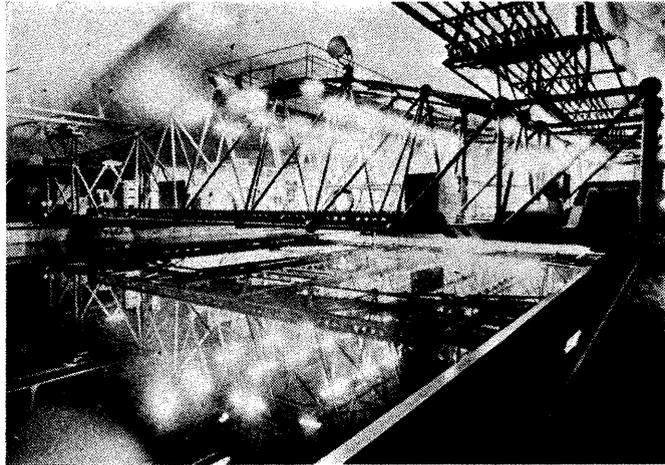
A-4-39 造波板および南端クレーン



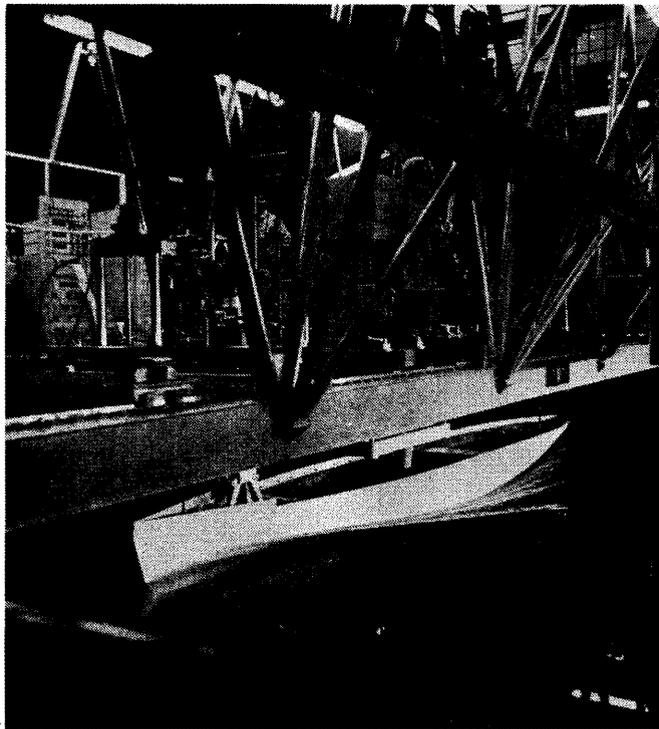
A-4-37 曳引車模型 (1/40) による風洞試験
(流線の観測中)



A-4-40 曳引車の組立

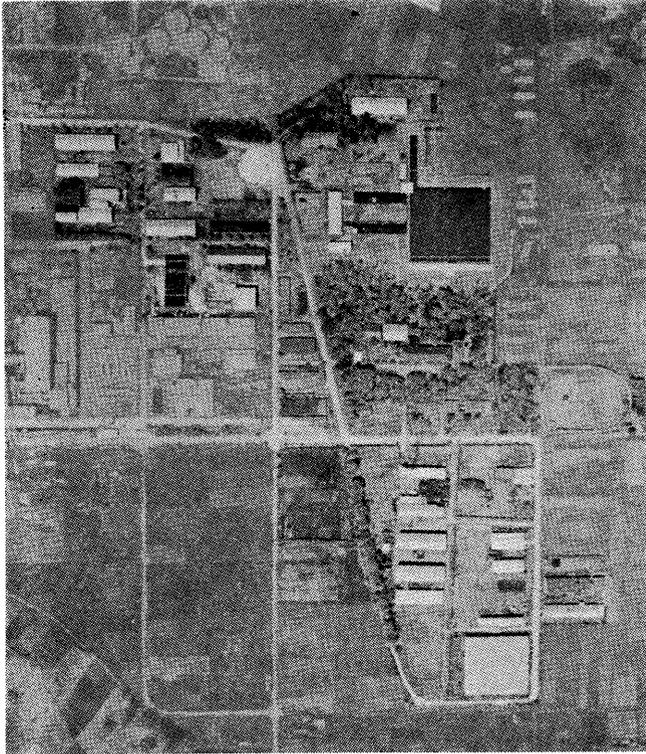


A-4-41 曳引車全景

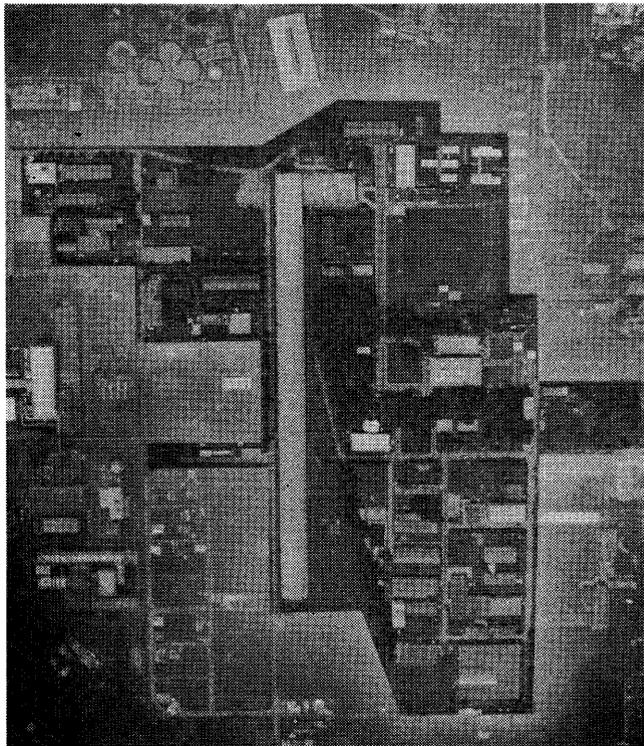


A-4-42 曳引車および標準模型船

船舶技術研究所
航空写真



三鷹第2船舶試験水槽
建設前
(昭和38年4月撮影)



建設後
(昭和43年8月撮影)