

変動風水洞の建設及び基本特性

青木 修一*、北村 文俊**、斉藤 昌勝***

New Pulsating Wind Tunnel with Water Tank By Shuichi AOKI*, Fumitoshi KITAMURA** and Masakatu SAITOH***

Abstract

The Ship Research Institute (SRI) has been making researches and development to confirm the safety of ships and offshore structures and to preserve the marine environment. A new experimental facility "Pulsating Wind Tunnel with Water Tank" to support a part of those researches and development has been completed at the SRI in September 1993. This facility is composed of a horizontal single-return type wind tunnel (so-called Göttingen type) and a water tank. The water tank has been installed under the test section of the wind tunnel, and is equipped with a wave maker, two wave absorbers and a current generator. The wind tunnel with water tank can generate wind, waves and current simultaneously or independently. It can be used as boundary layer type, open test section type and Eiffel type wind tunnel by the installation of movable floor boards between the test section of the wind tunnel and the water tank. The wind tunnel can generate sinusoidally pulsating wind with large amplitude in low frequency range by the electronically controlled fan. It has been found that the generated wind velocity gives a clear sine curve of pulsating wind. Therefore, the illustration of the generation of pulsating wind by the electronically controlled fan may be informative for the generation of the pulsating wind in a large scale wind tunnel.

Basic performance tests have been carried out in the test section of the facility. Some results and specifications of the facility are as follows.

The test section of the wind tunnel is 3.0m wide, 2.0m high and 15.0m long. The maximum mean wind velocity is 34m/s. The sinusoidally pulsating wind can be generated with the wind velocity up to 13m/s \pm 50% and the period of 25~50 seconds. The water tank is 17.6m long, 3m wide and 1.8m high (reference water depth 1.5m). The wave maker can generate regular waves with wave height up to 0.3m and period of 0.6~4.0 seconds or irregular waves. The current generator can generate up to the flow velocity of 0.3m/s.

* 海洋開発工学部
** 造船業基盤整備事業協会
*** 海上技術安全局技術課
原稿受付 平成7年3月7日
審査済 平成7年5月10日



写真1 変動風水洞実験棟全景

目次

1. はじめに	29
2. 基本計画	29
2.1 調査	29
2.1.1 所内の風洞	29
2.1.2 所内の送風装置付き水槽	30
2.1.3 内外の大型風水洞	30
2.1.4 国内の変動風を発生できる大型風洞	31
2.2 基本構想	31
2.3 基本計画	32
2.3.1 実験棟	32
2.3.2 風洞部	32
2.3.3 水路部	32
2.3.4 計測装置	32
2.3.5 パソコン制御	33
3. 建設工事	33
3.1 平成元年度	33
3.2 平成2、3年度	34
3.3 平成4、5年度	35
4. 施設の構成	36
4.1 実験棟	39
4.2 風洞部	39
4.2.1 送風機及び電動機	39
4.2.2 集合洞及び縮流洞	40
4.2.3 計測洞	40
4.2.4 拡散洞, 回流洞及び異形洞など	42
4.2.5 その他	43
4.3 水路部	43
4.3.1 造波装置	43
4.3.2 回流装置	44
4.4 制御装置	44
4.4.1 送風制御装置	44
4.4.2 造波制御装置	45
4.5 計測装置	46
4.5.1 トラバース装置	46
4.5.2 ターンテーブル	47
4.5.3 6分力天秤	48
4.5.4 三次元熱線流速計システム	49
4.5.5 電子式多点圧力計測システム	49
4.5.6 波データ収集及び波形解析システム	53
4.5.7 その他の計測器	53
4.6 天井走行クレーン	54
4.7 電気設備	54
4.8 LAN	54
5. 基本性能試験結果	54
5.1 風洞部性能試験	54
5.1.1 一様流	54
5.1.2 騒音計測	58
5.1.3 非定常流	58

5.2 水路部性能試験	61
5.2.1 造波装置	61
5.2.2 回流装置	62
6. おわりに	64
謝辞	64
付記	64
参考文献	64

1. はじめに

船舶技術研究所では21世紀を目指して地球に優しい船舶や海洋構造物などの開発とその安全の確保や海洋環境の保全のための研究が鋭意行われている。これらの研究の一翼を担う施設として、当所では平成元年度より変動風水洞の建設を行ってきたが、5年9月にこれを竣工させた。

本風水洞の特徴はゲッチンゲン型水平単回流式風洞の計測洞の下に造波装置および回流装置を持った水槽を備えており、定常風及び変動風に加えて、波・流れの共存する実海域の海象を再現できることである。さらに、計測洞と水槽との間に可動床を取付けると汎用風洞としても使用することができる。

写真1に変動風水洞実験棟の全景を示す。

以下に本施設の基本計画、建設工事、構成や基本性能試験結果について報告する。

2. 基本計画

2.1 調査

当所では風水洞建設に当たり、基本計画を取りまとめるために各種調査を行った。調査は所内の風洞3基や送風装置付き水槽3基と風洞や風水洞(水槽付き風洞または風洞付き水槽)を持つ国内関係諸機関の10カ所を越える施設の実地調査や30カ所を越える施設の文献調査を実施した。

2.1.1 所内の風洞

所内にはエッフェル型1基と戦前のゲッチンゲン型2基の計3基の風洞がある。

(1) ゲッチンゲン型風洞(吹き口：楕円形)

当所の前身の1つである中央航空研究所が昭和17年に設置した木製ゲッチンゲン型水平単回流式風洞で、11号建屋にある。この風洞の吹き口は1.5m×1.0mの楕円形である。当時、本風洞は実機試験用風洞の1/10スケールのパイロット風洞として建設された。そのため、吹き口は余り大きくないが送風機を4台に分割し、それぞれを出力15HPの直流電動機で駆動している。電動機出力は合計60HPである。また、本風洞は機械式6分力天秤を備えている。風速は最大40m/sである。

戦後、航空の研究が再開されてから、国産初の民間旅客機YS11の開発に活用され、その他ヘリコプターや翼型の研究などにも用いられた。その後、固定地面板や移動地面板(ムービングベルト装置)を用いた周辺噴流型ACV(Air Cushion Vehicle)の推進性能に関する研究や太陽光による洋上水素製造筏の研究などに用いられてきた。しかし、

現在は電動機や制御器などの老朽化が甚だしいので使用されておらず、火災に対する安全上から電源は切られている。

(2) ゲッチンゲン型風洞(吹き口：円形)

昭和39年に気象庁より移管された木製ゲッチンゲン型水平単回流式風洞で、63号建屋の中にある。この風洞は吹き口が直径1.0mの円形である。昭和17年製で、気象庁では風速計等の検定用風洞として使用されていたものである。

移設当時、風速は最大75m/sまで出せたと言われているが、現在では電動機や制御器の老朽化により、最大風速を60m/sに制限している。駆動電動機出力は100HPである。本風洞は汎用風洞として各種風洞実験に使われている。これまでに行われた受託試験の内には、ゴルフボールの表面にあるディンプルの効果に関する実験、送電線のギャロピング現象に関する実験など興味深いものがある。

(3) エッフェル型風洞(吹き口：角形)

昭和30年に設置した木製エッフェル型風洞で、63号建屋の中にある。本風洞は吹き口が1m×1mの角形で、その四隅は100rづつ丸められている。駆動電動機出力は50HPで、最大風速は40m/sである。所内では、本風洞はフラッター風洞と呼ばれており、設置当初は閉鎖型計測洞に翼模型を置いてフラッター性能を調べるために用いられていた。その後、閉鎖型計測洞を取り外し、ACVの2次元湾曲ジェットの研究や側壁型ACVのウォータージェット推進機の吸い込み口性能の研究などに使われた。

最近では吹き口に浮体式海洋構造物模型を置き、模型に働く風荷重の計測・実験に使われている。

これらの風洞は何れも戦前の老朽化した11号や63号建屋の中に設置されている。前2者は送風機の羽根が木製であり、電動機および制御器も当時のもので同様に老朽化している。その上、風洞本体の塗装が剥げたり、木部が変形したりして風路に隙間が出来る等の使用に耐えない状態にある。さらに、これらの風洞は最近の風洞と比較して計測部断面積が小さい上に、後に述べる様に所内で要望の強い多目的風水洞として改造することも不可能な状態にある。

2.1.2 所内の送風装置付き水槽

所内にある送風装置を有する水槽には三鷹第3船舶試験水槽、海洋構造物試験水槽、動揺水槽の3基がある。

(1) 三鷹第3船舶試験水槽

三鷹第3船舶試験水槽は長さ150m、幅7.5m、水深0~3.5mで、曳引台車の速度は0.2~6m/sである。曳引台車に曳引補助台車を連結し、後者に貫流式送風装置(吹き口の幅3m×高さ2m、駆動電動機出力37.5kW)を取り付けると、風速は1.0~10.0m/s、風向は0~30°の風を発生できる。また、この水槽にはプランジャー式造波装置(波長0.5~10m、最大波高0.3m)が付設されている。本水槽は主に船舶の推進性能に関する定性的な研究に使われている。

(2) 海洋構造物試験水槽

海洋構造物試験水槽は長さ40m、幅27.6m、水深0~2.0mである。旋回台車に送風装置として直径0.6m²のファン10

台が横1列に設置され、吹き口の幅4.5m、高さ0.5mで、風速0~8m/sの風を発生できる。可逆式軸流ポンプ方式の潮流発生装置(最大流量824m³/min、駆動電動機出力300kW)およびフラップ式造波装置(波周期0.4~5s、最大波高0.3m)を有する。主に海洋構造物関連の実験に使われている。

(3) 動揺水槽

動揺水槽は長さ50m、幅8m、水深4.5mで、曳引台車の最大速度は2m/sである。造波装置は波長0.5~15m、最大波高0.5mの波を発生できる。送風装置は貫流式で、吹出し口の幅3m、高さ0.45mで、最大風速18m/sまでの風が発生できる。

これらの水槽は何れも送風装置を有するが、風速が低かったり、一様な風速分布の風が得られないなどの欠点がある。

2.1.3 内外の大型風水洞

現在のところ、大型風水洞を有する研究機関はウエスタンオンタリオ大学、九州大学、住友重機械工業(株)などである。

(1) ウエスタンオンタリオ大学境界層風洞

カナダ国ウエスタンオンタリオ大学境界層風洞研究所の境界層風洞Ⅱ¹⁾(1984年完成)は当所の変動風水洞と同じく基本はゲッチンゲン型水平単回流式風洞である。境界層風洞Ⅱは単一風路内に高速計測洞と低速計測洞を持つ本格的な風水洞である。

高速計測洞は長さ39m、幅3.4m、高さ2.5mであり、風速は最大27.8m/sまで発生できる。この計測洞床にはラフネスブロックが設置されており、コンピュータ制御によりそれぞれを任意の高さに独立して調整でき、対象構造物の上流側の不規則な地表粗度を風洞内に再現できる。

低速計測洞は長さ52m、幅5m、高さ4mであり、風速は最大10m/sまで発生できる。この計測洞の下には長さ52m、幅5m、高さ2mの水槽部があり、風水洞として使用する時には低速計測洞と水槽部が一体になる。低速計測洞の床は可動式であり、電動で上下出来る。風工学などの実験で風洞として使用するときには水を抜き、可動床を上げて低速計測洞として使用する。海洋構造物などの実験を行う風水洞として使用するときには可動床を下げて水を張る。水槽部上流側には造波装置、下流側には消波装置が設置されているので、波浪中での実験も可能である。

この風洞はコーナーバーンを切換えるとエッフェル型にもなるので、排煙拡散の実験に使用できる。

現在、低速計測洞では主に地形模型実験や拡散実験に、高速計測洞では構造物の耐風性実験などに用いられている様である。

(2) 九州大学海洋環境シミュレーション水槽

九州大学応用力学研究所の海洋環境シミュレーション水槽²⁾(1986年完成)は2次元水槽の上に送風装置を取付けて、海上風、風波、吹送流などの研究に用いられている。この送風機付き水槽の水槽部は長さ54m、幅1.5m、高さ2m、

標準水深1.2mである。風は最大風速15m/sまでの順風と最大風速11.5m/sまでの逆風を、流れは最大流速0.45m/sまでの順流と最大流速0.35m/sまでの逆流を、波は最大波高15cmまで発生できる。

(3) 住友重機械工業(株)水槽風洞

住友重機械工業(株)平塚研究所の水槽風洞³⁾(1986年完成)はエッフェル型風洞の下に造波装置を備えた2次元水槽を持ち、吹出し式風洞としても使用することができる。水槽風洞の計測部は長さ20m、幅1.5m、高さ2mであり、最大風速20m/sまでの風を発生できる。

水槽部は長さ52m、幅1.5m、深さ2m、水深1.5mである。また、水槽の上流側には造波装置、下流側にはビーチ式消波装置があり、最大波高40cmまでの波が発生できる。水槽の途中にはピットが設けられ、ピット部で海洋構造物などの係留実験が出来る様に計画されると共に、将来潮流発生装置を増設する時のピットとしても使える様に配慮されている。風水洞として使用する時には可変天井、可変床により滑らかに水面上へ送風する事が出来る。

現在、本水槽風洞はエッフェル型吹出し式風洞として、主に橋梁の耐風性に関する基礎研究に用いられている。

2.1.4 国内の変動風を発生できる大型風洞

当所で計画した風水洞では風洞部で変動風を発生させる必要から、調査を行った国内の大型風洞の中で変動風や脈動風を発生できる風洞施設の5例を以下に示す。

(1) 科学技術庁航空宇宙技術研究所大型低速風洞

航空宇宙技術研究所大型低速風洞⁴⁾はゲッチンゲン型水平単回流式風洞で、昭和40年に完成した。竣工した当時、国内最大の低速風洞であった。出力3,000kW、回転数214rpmの同期電動機に直結した直径9.3m^φ、動翼10枚の軸流送風機に対して動翼ピッチ制御を行い、風速は8~60m/sを発生できる。

計測部は開放型の時には高さ5.6m×幅4.6m×長さ7.1m、半閉鎖型の時には6.5m×5.5m×9.25m、閉鎖型の時には6.5m×5.5m×11.0mである。

変動風は平均風速25m/sの時、振幅±4.4m/s、周期2sであり、第1拡散洞に設置した6枚の可動ベーン(油圧装置75kW)で発生させる。

(2) 科学技術庁航空宇宙技術研究所突風風洞

航空宇宙技術研究所調布支所突風風洞⁵⁾はゲッチンゲン型水平単回流式風洞で、昭和47年に完成した。計測部は断面2m角×長さ4mで、閉鎖型カート、開放型カートがある。出力200kWの可変周波数同期電動機に直結した直径3.52m^φ、動翼10枚の軸流送風機により、閉鎖型の時に風速は2.4~67.4m/sを発生できる。

上下突風は翼列型突風発生装置で発生させる。一様流風速3~30m/sの時に、可動翼列の加振振動数0~20Hz、可動翼列の縦揺れ角0~±0.15radで、突風風速0~±4.5m/sの突風を発生できる。発生できる振動波形は正弦波、三角波、矩形波、ランダム波である。

(3) 九州大学バルセーション風洞

九州大学応用力学研究所バルセーション風洞⁶⁾はゲッチンゲン型水平単回流式風洞で、昭和45年に完成した。計測部は縦2m×横4m×長さ6mの横カートと4m×2m×6mの縦カートを交換できる方式である。サイリスタ・レオナード制御を行った出力600kW、回転数60~600rpmの直流電動機に直結した直径3.9m^φ、動翼14枚の軸流送風機により、風速は0.1~60m/sを発生できる。

脈動風は第1拡散洞下流に設置した多羽根ダンパによる脈動風発生装置により平均風速10m/sの時、振幅±3m/s、最大振動数1.3Hzのものまで発生できる。

(4) 住友重機械工業(株)回流風洞

住友重機械工業(株)平塚研究所回流風洞³⁾はゲッチンゲン型縦単回流式風洞で、昭和60年に完成した。計測部は閉鎖型の時には幅2m×高さ3m×長さ15m、開放型の時には2m×3m×5mである。サイリスタ・レオナード制御を行った出力400kW、回転数2~670rpmの直流電動機に直結した直径3.5m^φ、動翼12枚の軸流送風機により風速は0.3~60m/sを発生できる。

変動風及び脈動風は第1拡散洞下流端に設置したNACA-0012翼列によるダンパー式変動風発生装置、脈動風発生装置及び突風開閉扉により、最大振動数10Hzのものまで発生できる。

(5) 三井造船(株)構造物用風洞

三井造船(株)昭島研究所構造物用風洞⁷⁾はゲッチンゲン型水平単回流式風洞で、昭和53年に完成した。計測部は閉鎖型の時には幅2m×高さ3m×長さ20m、開放型の時には2m×3m×5mである。サイリスタ・レオナード制御を行った出力125kW、回転数12~600rpmの直流電動機に直結した直径3.0m^φ、動翼10枚の軸流送風機により、閉鎖型の時に風速は0.3~20m/s、開放型では最大30m/sまで発生できる。

変動風は第2拡散洞下流端に設置したダンパー式変動風発生装置により、最大振動数10Hzのものまで発生できる。

2.2 基本構想

当所の風洞や送風装置付き水槽が上記の様な状態にある中で、時代の要請に応じた種々のテーマが提案された。それらを要約すると、厳しい実海域の海象や海上風の風速分布を再現できる風水洞(水槽付き風洞)での海洋構造物や風荷重の大きな船舶などの実験、風洞での次世代型超高速船舶、港湾地区における排煙拡散シミュレーションの実験などに関するものである。すなわち、それらの実験が行える施設に対する強い要望である。

本施設の基本計画を策定するに当たって、上記のようなニーズや今後の研究の多様化を考慮して、次の項目を基本構想としている。

風洞として、

- 1) 「本州四国連絡橋風洞試験基準(1973)⁸⁾」を十分に満たす。
- 2) 一様風の他、変動風での実験ができる。
- 3) 計測部断面が広く、かつ地表面や海面上の風速分布を

設定できる。

- 4) 一般船舶や海洋構造物などの長大な模型実験ができる。
 - 5) 風速は1~30m/sを出せ、低風速時にも均一で安定した風速が得られる。
 - 6) 煙などによる流れの可視化ができる。
 - 7) 低騒音施設である。
- 風水洞として、
- 8) 風、波、流れの複合した海象を再現できる。
 - 9) 浮体の各種係留実験ができる。
 - 10) 多目的利用の風水洞とする。

2.3 基本計画

上述の基本構想を基にして当所では境界層風洞、開放型風洞、可視化風洞、造波・回流装置を持った水槽付き風洞として使い、一様風に加え変動風も発生できるなどの多目的利用の風水洞を目指した。

この為に、変動風水洞に対する基本計画として下記の事が決められた。

2.3.1 実験棟

実験棟本棟：鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)構造

計測・準備室及び電気室など：SRC構造

屋外風路及び電動機室：鉄筋コンクリート(RC)構造

後に実験棟本棟、計測・準備室及び電気室などは予算の関係から、SRC構造から鉄骨組んで天井はカラー波板鉄板葺き、外壁はALC板葺きに変更している。

計測・準備室より各機器や計測器が遠隔操作・制御でき、風水洞計測部の監視なども行えることとする。

2.3.2 風洞部

(1) 形式：ゲッチンゲン型水平単回流式

風洞形式はエッフェル型に比べて所要馬力が少なく、防音対策が比較的容易であり、外気変動の影響を比較的受けない事などの利点が多い事からゲッチンゲン型水平単回流式に決めた。風洞の基本は境界層(閉鎖型)風洞とし、開放型風洞、吹き出し式可視化風洞としても使える事とする。

(2) 計測部：閉鎖型の時、幅3m×高さ2m×長さ15m

開放型の時、幅3m×高さ2m×長さ2.5m

一般船舶などの縦長の模型や海洋構造物模型のヨー角実験が行えるように、予算の許す範囲で出来るだけ風洞断面を大きくかつ横幅を広くし、大気境界層を模した実験が出来るように閉鎖型計測洞を長く採る。

(3) 一様流

計測部は閉鎖型かつ供試体無し状態で、下記の性能を確保する。

- ・風速範囲：計測洞入り口から3m下流で、1~30m/s
一般船舶や海洋構造物が対象のため、風速20m/sで実機相当の風速が可能である。
- 最大風速を抑え低風速まで回転数を制御することで精度の良い風速調整を可能とする。また、最大風速を30m/sとすることで高速船舶の実験も可能とする。
- ・風速分布及び乱れ強さ：風速20m/sの時、計測洞入り口から3m下流の境界層を除く断面において、

- ・風速分布の偏差：±1.0%以下
- ・乱れ強さ：0.5%以下
- ・気流偏向角：風速20m/sの時、5deg以下
- ・静圧勾配：風速20m/sの時、計測洞入り口から3m下流の前後0.75mの風軸上で±0.75%以下
- ・有効断面積率：風速20m/sの時、計測洞入り口から3m下流の断面で84%以上
- ・気流温度上昇：風速15m/sの時、起動後10分以降5℃/時間以下(外気温一定とする)

(4) 非定常流

閉鎖型かつ供試体無し状態で、下記の性能を確保する。

- ・正弦変動風：最大平均風速13m/sの時、振幅±50%、周期25~50s
- ・変動風波形：正弦波を標準として外部信号も可能

(5) 騒音レベル：送風機試験法JIS B-8346に準拠し、風速25m/sの時、送風機洞周りで100dB(A)以下

2.3.3 水路部

(1) 造波装置

当初、造波装置は

使用水深：最大1.5m

造波幅：3.0m

造波波高：最大0.1m(波周期1.0s時)

波周期：0.6~4.0s

発生波形：規則波、不規則波

造波方向：送風方向と同一方向

であったが、

造波波高：最大0.3m(波周期1.0s時)

と変更している。

(2) 回流装置

当初、回流装置は

使用水深：1.5m

回流幅：3.0m

回流速度：最大0.3m/s

回流方向：送風方向及びその逆方向

であったが、予算の制約から

使用水深：約0.5m

回流幅：約1.5m

回流速度：最大約0.3m/s

回流方向：送風方向

回流領域：可動計測洞付近において水槽長手方向の長さ2mの範囲

と変更している。

2.3.4 計測装置

当初、計測装置は

- ・3次元熱線流速計システム
- ・JISピトー管式流速計

のみであったが、これらに加えて

- ・6分力天秤
- ・内挿式3次元トラバース装置

- ・ターンテーブル装置
- ・多点圧力計測システム
- ・テレビカメラ監視装置

などを追加すると共に、計測の自動化を図れるように変更している。

2.3.5 パソコン制御

当初、計画では送風制御、造波制御はそれぞれの操作盤から手動で行う方式であったが、最近進歩の著しいパソコンを用いた制御方式に変更している。

3. 建設工事

変動風水洞は昭和63年12月の平成元年度予算で4年計画を1年延長され、5年計画とした上で認められた。財政当局は折からの国の財政難を理由に、本建設の始まった後も何度か「建設計画を更に1年延長できないか」と、強く働きかけてきた。また、本建設は丁度バブル経済にぶつかり、それによる大幅な諸物価の高騰期に遭遇した。更に、本建設は予算総枠と各年度予算枠に厳しく縛られていた。この様な状況下に置かれていたが、基本計画には出来るだけ影響を及ぼさないように配慮しながら、各年度の実行計画を策定していった。

本来なら、本実験施設規模の建設は1、2年で行われるべきものであろう。

予算がついて後直ちに、所内に次長を委員長として各研究部より選任された委員より構成された変動風水洞建設連絡会(全部で6回開催)が設置された。それを受けて海洋開発工学部内に作業グループが設けられた。このグループが実行部隊として会計課や関東地方建設局との折衝、計画変更や調整等の作業に当たった。

表1に実施年度と建設工程を示す。以下に、多くの写真を用いて変動風水洞建設の様子を示す。

3.1 平成元年度

先ず、年度前半では変動風水洞建設場所の選定が行われた。建設予定地として55号建屋を取り壊しその跡地に建設する案と、三鷹船舶第1水槽、所長官舎、東京大学三鷹寮に囲まれた、樹木が数多く植えられていた現在地に建設する案とが検討された。しかし、諸般の事情から後者に建設

される事となった。

図1に変動風水洞建設地を示す。

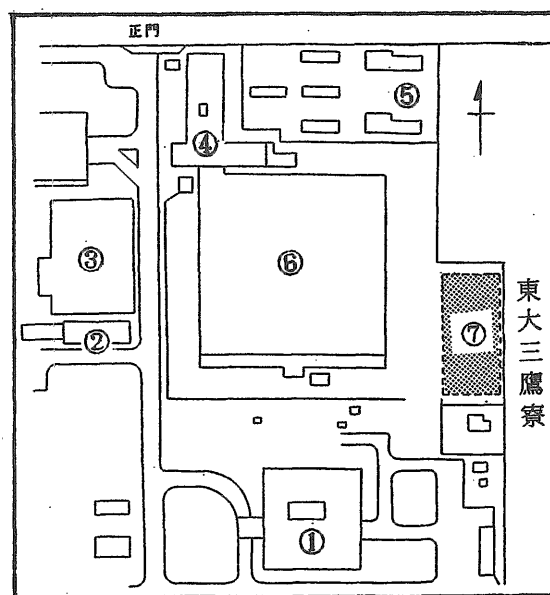
次に、第3四半期には敷地の調査が行われた。

平成2年に入って、樹木の伐採と回流装置を設置するためのピットおよび実験棟の基礎工事が行われた。

写真2は本建設工事が始まって間もない頃のピット基礎工事、写真3はピット工事を示す。

引き続き水槽本体の製作並びに55号棟への仮設置および電源ケーブル用埋設電線管工事の一部(三鷹船舶第1水槽の西側)が行われ、年度末までに終了した。

当初、計画では変動風発生時の風量調整制御扉とダンパ



- ① 本庁舎
- ② 海洋開発工学部
- ③ 海洋構造物試験水槽
- ④ 運動性能部
- ⑤ 職員宿舎
- ⑥ 80m角水槽
- ⑦ 変動風水洞建設地

図1 変動風水洞建設地

表1 実施年度と建設工程

区分	平成元年度	2年度	3年度	4年度	5年度
1.敷地調査	○				
2.実験棟				○	○
3.風水洞基礎	○				
4.風洞本体		○	○	○	
5.送風設備					○
6.制御装置					○
7.水路設備	○				○
8.計測設備			○		○
9.電気設備		○	○		○
10.外構整備			○		○

注：○は実施年度を示す。

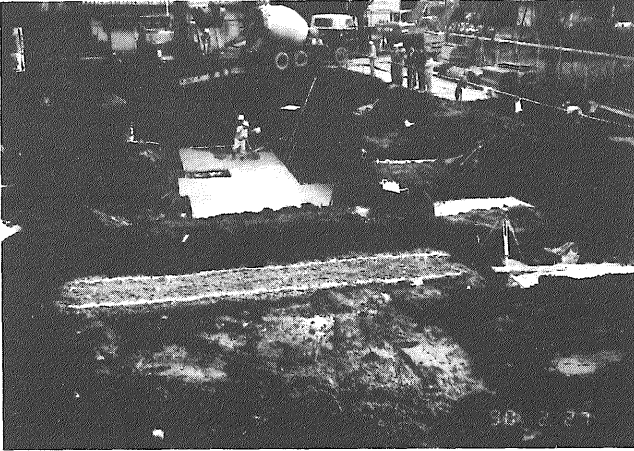


写真2 ピット基礎工事(工事の開始)

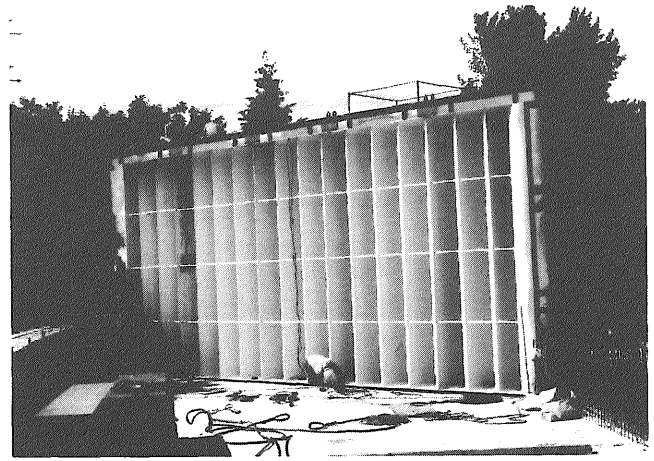


写真4 第1コーナーペーンの設置

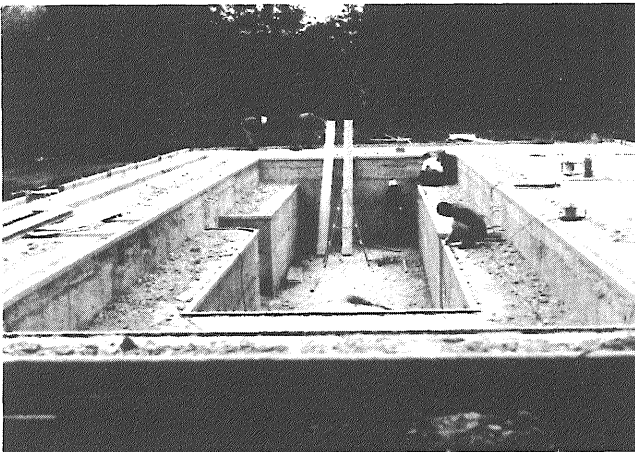


写真3 ピット工事

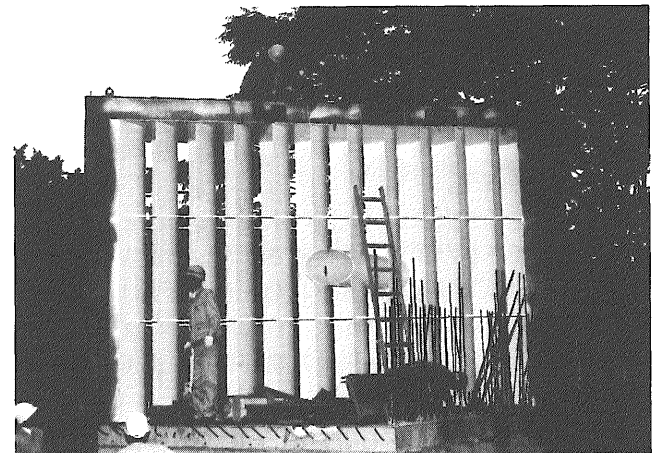


写真5 第4コーナーペーンの設置

式変動風発生装置および天井走行クレーンが予定されていたが、これらは予算不足のために実行計画策定の早い段階から凍結された。

3.2 平成2、3年度

2、3年度は国庫債務負担行為のため連続して建設工事が行われた。重量物搬入路としてクレーン車の通路を確保するために、送風機・異形洞部の基礎工事は4、5年度に延ばされた。この部分を除く風洞部基礎工事が3年3月から始まり、順次各コーナーペーンの製作・取付、風洞本体および電動機室の鉄筋コンクリート(RC)部打設及び集合洞、縮流洞、第2拡散洞などのスチール部の製作・取付が行われ、12月に終了した。

写真4は第1コーナーペーンの設置、写真5は第4コーナーペーンの設置、写真6は第1回流洞、写真7は第2回流洞、写真8は集合洞、写真9は縮流洞、写真10は第2拡散洞を示す。

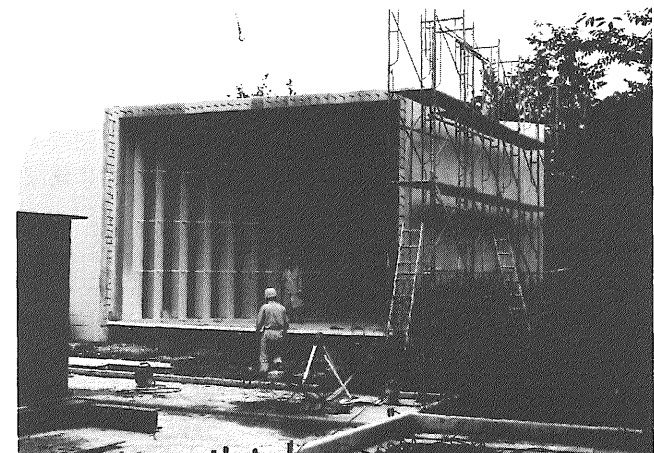


写真6 第1回流洞



写真7 第2回流洞

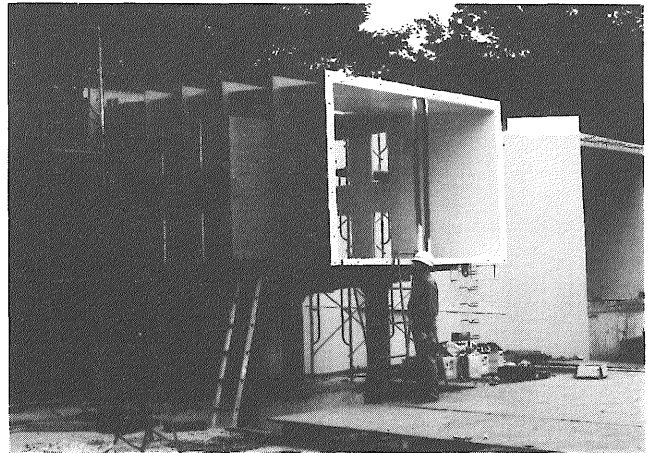


写真10 第2拡散洞

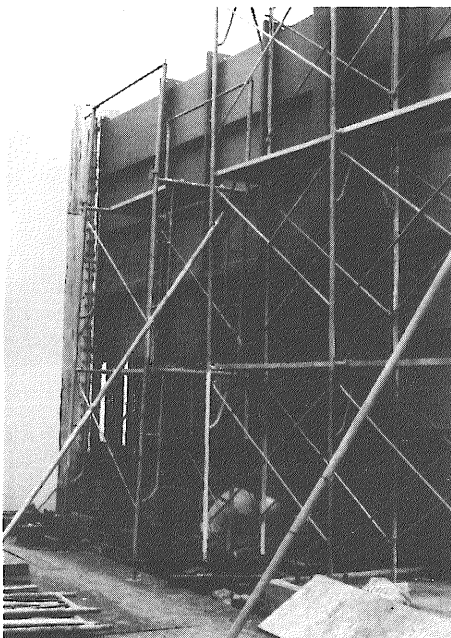


写真8 集合洞の設置

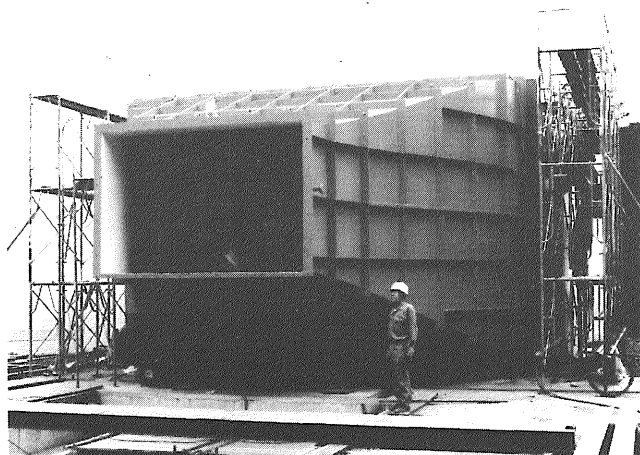


写真9 縮流洞の設置

3年度末に東大三鷹寮が東大三鷹国際学生会館として建替えられることになったので、急遽敷地境界に高さ4m、長さ90mの防音壁を設置した。また、電源ケーブル用埋設電線管工事の一部(三鷹船舶第1水槽の南側)が行われた。計測装置の内3次元熱線流速計として、米国TSI社製のものが購入された。

3.3 平成4、5年度

4、5年度予算見直しに於いて、天井走行クレーンはこの時点まで凍結されていたが、本実験施設として必要不可欠であることから設置されることに決定した。また、予算不足のため水槽全断面で最大流速0.3m/sの潮流を発生できる回流装置から限られた水面で同じ最大流速の潮流を発生できる簡易型回流装置に縮小、電源設備容量470kVAから260kVAへ縮小、造波装置をソルターダック式から当所で実績のあるフラップ式に変更、最大波高を0.1mから0.3mに変更、実験棟外壁をSRCから鉄骨組みALC板葺きに変更、天井をRCからカラー波板鉄板葺きに変更、送風、造波制御をパソコン制御に変更するなどの決定を行った。

2、3年度と同様に4、5年度も国庫債務負担行為のため、年度に跨り連続して建設が行われた。工事は5年2月から再開され、先ずピット内に回流装置用ポンプの設置とその配管、排水ポンプの設置とその配管および水槽取付架台の設置が行われた。次に、55号棟に仮設置されていた水槽を解体し、水槽取付架台上に移設(写真11)する作業が行われた。

続いて、計測洞鋼製フレームの組立(写真12)、実験棟鉄骨の組立(写真13)、天井走行クレーンの組み上げおよびこれまで重量物搬入用通路として使われて来た送風機・異形洞部の基礎工事が行われた。その後、送風機・異形洞、主電動機などの設置、実験棟外壁、天井などの工事、各種制御装置の設置、電気設備工事、計測洞フレームに耐水ベニヤの板張り(写真14)や塗装などが行われ、8月半ばまでに完了した。

8月後半から本実験施設領収のための各種性能試験が行われ、9月末に無事性能試験にパスした。また、9月末の本施設竣工に合わせて、実験施設周りにフェンスの設置や

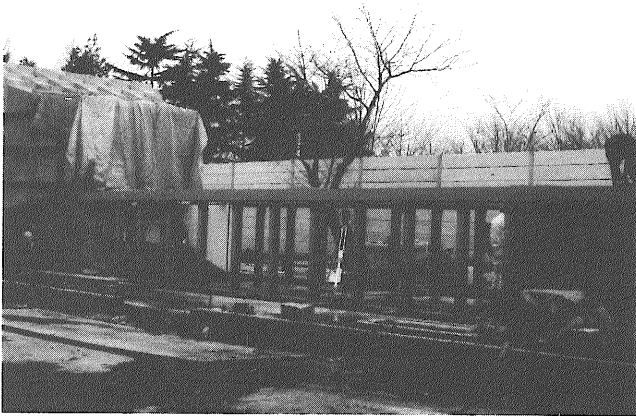


写真11 水槽の設置

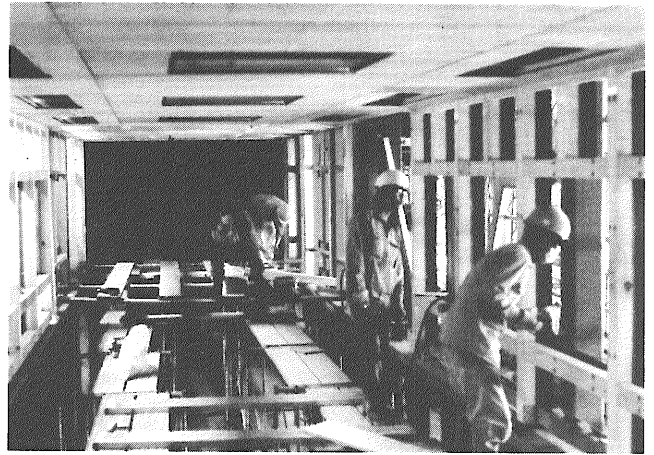


写真14 計測洞合板張り



写真12 計測洞鋼製フレーム

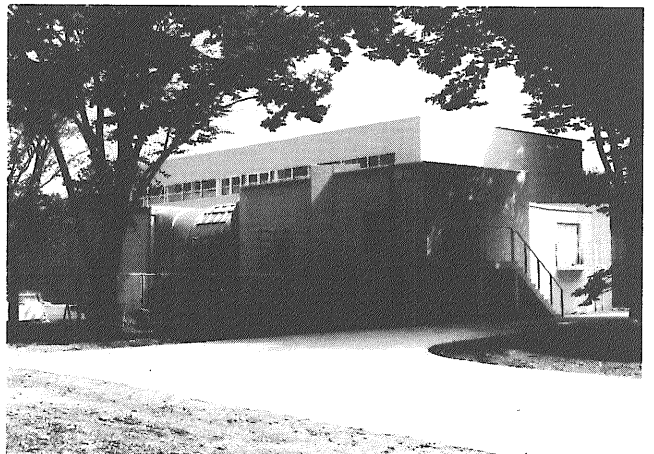


写真15 変動風水洞全景

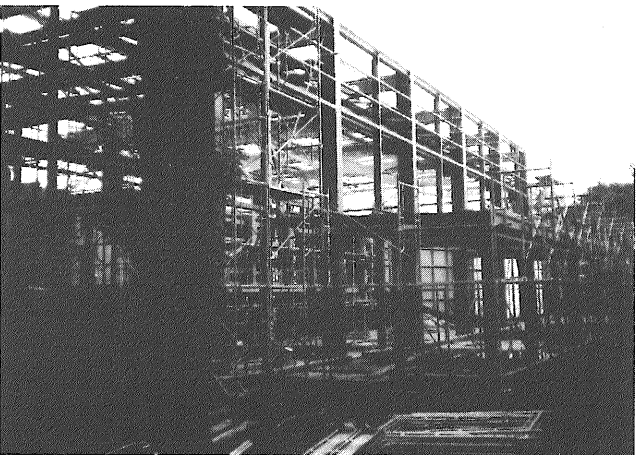


写真13 実験棟鉄骨

取付道路の舗装工事などの外構工事も完了した。10月1日に本施設の引渡しを受けた。

写真15に完成した変動風水洞全景を示す。

本実験施設においてこれまで不足していた計測機器類は、以下のようにして補充された。

まず、電子式多点圧力計測システムは4年度から始まった特別研究「次世代海洋構造物の開発及び安全評価に関する研究」の4、5年度予算の一部を当てて購入された。

次に、主要な計測装置である6分力天秤、トラバース装置、ターンテーブルがないことから、5年度補正予算でこれらの追加購入が認められ、6年2月までに設置された。

また、小物の計測器類の購入およびパソコンの所内LANへの接続工事や本風水洞を可視化風洞として使用する際に計測洞内を暗くする必要から観測窓への暗幕取付工事などに、5、6年度の施設運営費の一部を充当した。

これでもまだ計測器類は不足しているので、今後それを順次補充していく予定である。

4. 施設の構成

図2に変動風水洞の鳥瞰図を、図3に全体配置図を示す。

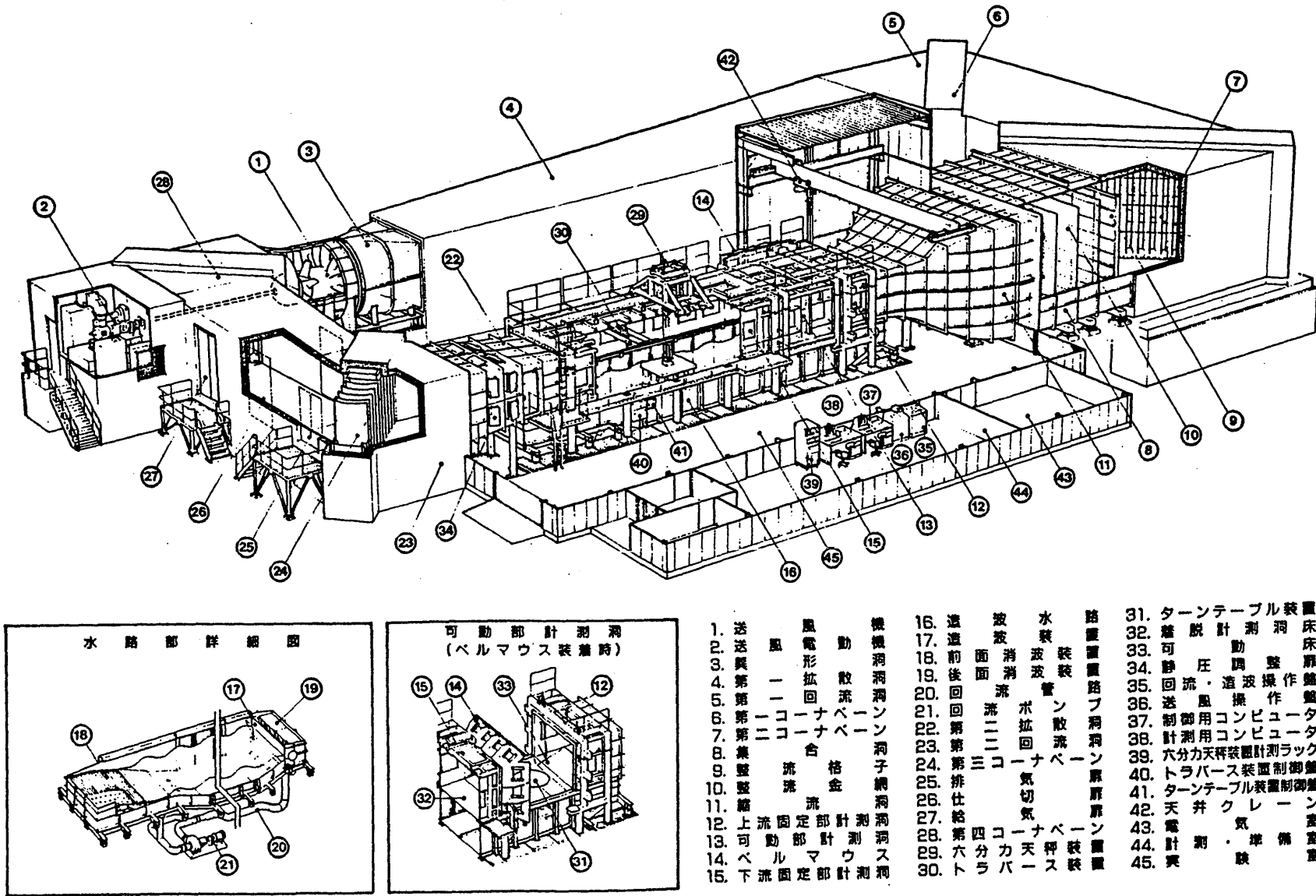


図2 変動風水洞の鳥瞰図

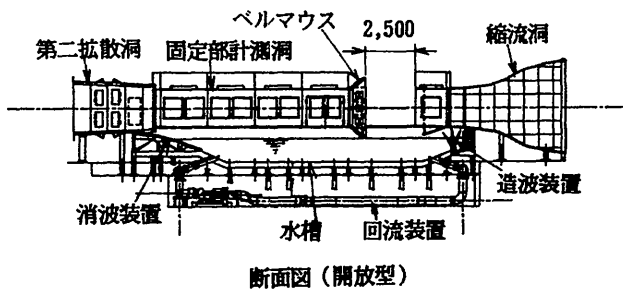
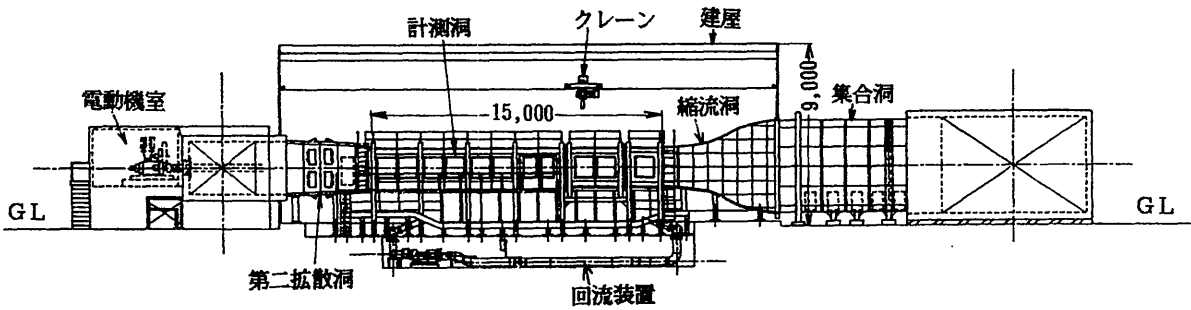
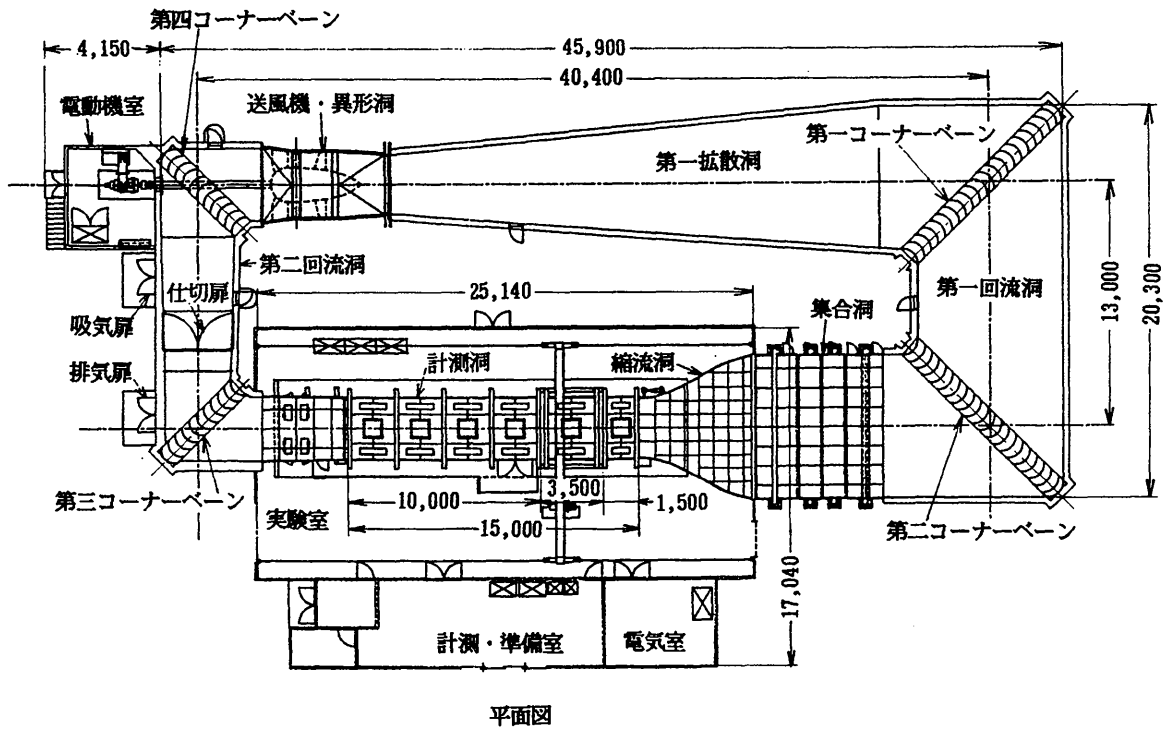


図3 変動風水洞の全体配置図

4.1 実験棟

実験棟は鉄骨平屋建てで、天井はカラー波板鉄板葺き、外壁はALC板葺きであり、風水洞計測部を収容した実験棟本棟、計測・準備室、電気室などから成る。実験棟本棟には天井走行クレーンや消火栓を設置している。

計測・準備室には大型の空調機を設置して、実験準備や計測時の快適性の向上に注意を払っている。

表2に実験棟の主要目を示す。

表2 実験棟の主要目

実験棟主要目	
構造	鉄骨平屋建, 外壁ALC板葺きなど
実験棟	長さ25.1m x 幅12.5m x 高さ9.0m
計測室など	長さ21.6m x 幅4.4m x 高さ3.7m

表3 風洞部の主要目

風洞部主要目	
形式	ゲッチンゲン型水平単回流式
風路長	106.8m
構造	RC部と鋼製部で構成
測定部	鋼製枠組み, 合板張り 閉鎖型: 3m(W) x 2m(H) x 15m(L) 境界層補正: 左右壁共4/1000拡大 開放型: 3m(W) x 2m(H) x 2.5m(L)
絞り比	6
風速	閉鎖型: 1~34m/s 開放型: 1~32m/s 吹出型: Max. 5m/s
風速分布偏差	±0.56%以下
乱れ強さ	0.34%以下
気流偏向角	0.8deg以下
静圧勾配	±0.44%/m以下
有効断面積率	85%
気流温度上昇	1°C/hour
非定常流	平均風速Max. 13m/s, 振幅±50%, 周期25~50sの正弦変動風など

4.2 風洞部

風洞部はゲッチンゲン型水平単回流式で、風路中心軸長さ40.4m×幅13.0m、風路長さ106.8mである。

表3に風洞部の主要目及び表4に諸元を示す。

4.2.1 送風機及び電動機

送風機は送風機洞(ケーシング)を含めて全て鋼製である。写真16-aは送風機入口側、写真16-bは出口側から見たところであり、写真16-cはケーシングを示す。送風機は泉送風機製(大阪)であり、同社の在来の送風機に比べて翼の3次元設計に改良を加え、表面粗さを小さくするなどの加工精度の向上を図り、騒音レベルを低く抑えた最新式低騒音型送風機である。

送風機は軸流単段固定ピッチ後置静翼方式であり、翼車径3.33m^φ、ボス径1.65m^φ、動翼枚数11枚、静翼枚数10枚で、有効全圧40mmAq、計画風量10,800m³/minである。

送風機は長さ6.5m、350Aの鋼管製の伝動軸を介して直流電動機と直結している。伝動軸は変動風の発生ができるように、定速風の場合の伝動軸よりねじり強度を上げたための鋼管製を用いている。

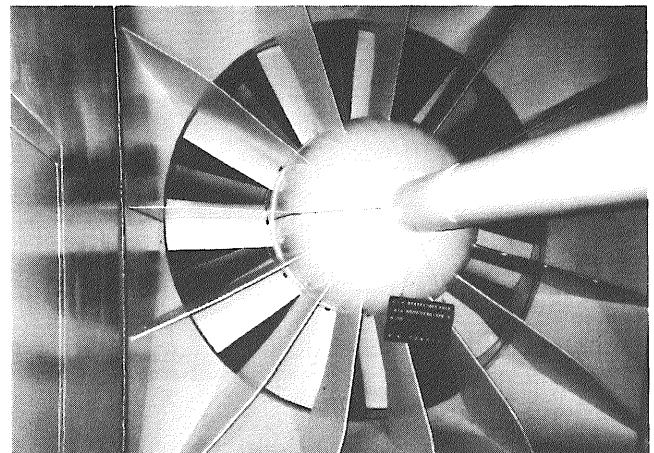


写真16-a 軸流送風機(入口側)

表4 風洞部の諸元

風洞胴体部名称	入口断面		出口断面		全長	材質
	内面幅	内面高さ	内面幅	内面高さ		
第1拡散洞	3,000mm	3,000mm	7,300mm	4,900mm	26,200mm	RC製
第1回流洞	7,300mm	4,900mm	7,300mm	4,900mm	6,500mm	RC製
集合洞	7,300mm	4,900mm	7,300mm	4,900mm	6,500mm	鋼製
縮流洞	7,300mm	4,900mm	3,000mm	2,000mm	6,000mm	鋼製
計測洞	3,000mm	2,000mm	3,120mm	2,000mm	15,000mm	鋼製枠+合板
第2拡散洞	3,120mm	2,000mm	3,300mm	2,700mm	4,200mm	鋼製
第2回流洞	3,300mm	2,700mm	3,700mm	3,700mm	19,600mm	RC製
送風機洞	3,700mm	3,700mm	3,350mm φ		3,800mm	鋼製
異形洞	3,350mm φ		3,000mm	3,000mm	2,600mm	鋼製
ベルマウス	4,150mm	3,110mm	3,040mm	2,000mm	1,000mm	鋼製

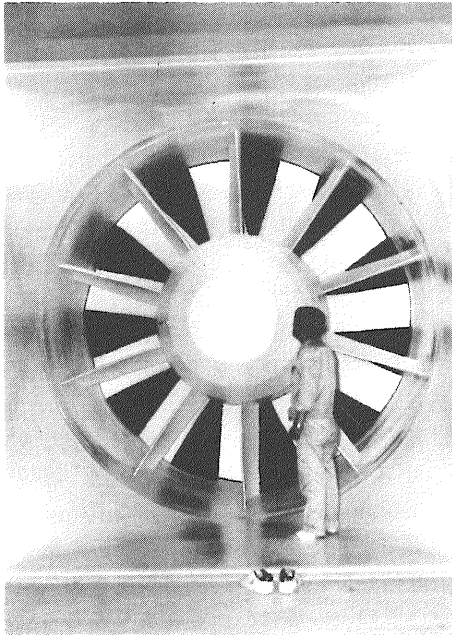


写真16-b 軸流送風機(出口側)

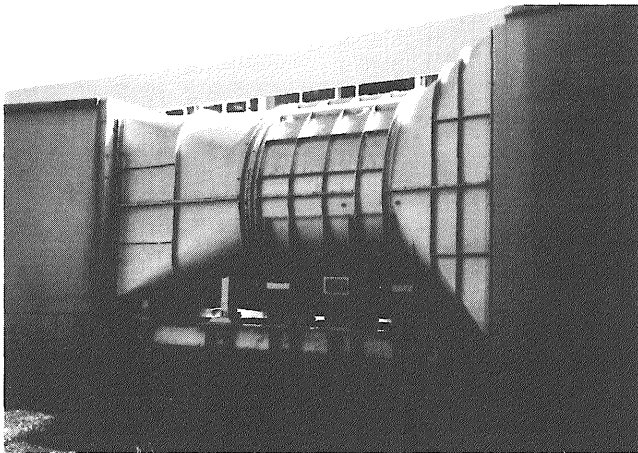


写真16-c 軸流送風機(ケーシング)

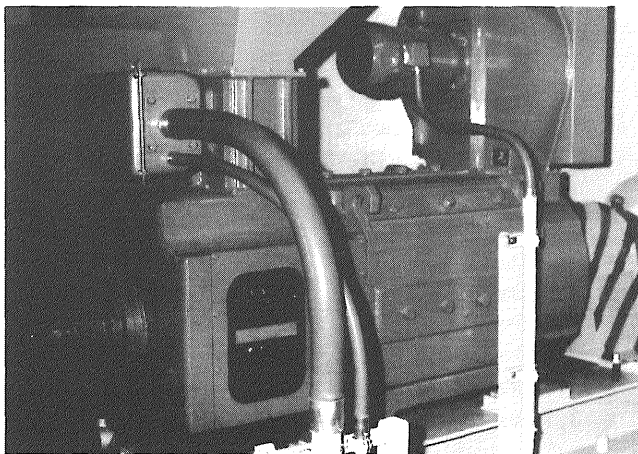


写真17 直流電動機

表5 送風機、電動機の主要目

送風機主要目	
形式	軸流単段固定ピッチ後置静翼型
翼径	3,330mmφ
ボス径	1,650mmφ
動翼枚数	11枚
静翼枚数	10枚
有効全圧	40mm Aq
風量	10,800m ³ /min
駆動方式	軸直結方式
電動機主要目	
形式	直流電動機(4極)
出力など	132kW-400V-3φ-50Hz
回転数	12~400rpm
制御方式	サイリスタ・レオナード+マイコン

送風機駆動用直流電動機は制御器と共にRC造りの電動機室に設置されている。この電動機(写真17)は安川電機製直流電動機(型式GBDR-K、4極)で、出力132kW、電圧400V、回転数12~400rpmである。

電動機には回転数検出器(速度検出発電機)と専用の冷却用軸流送風機(風量90m³/min、全圧90mm Aq、電動機3.7kW-4P)が取り付けられている。

表5に送風機、電動機の主要目及び図4に送風機・電動機系組立図を示す。

4.2.2 集合洞及び縮流洞

集合洞、縮流洞は鋼製である。集合洞には乱れ強さを小さくするために上流側より、ハニカム・セル径3/4"で厚さ150mmのアルミハニカム1枚、10メッシュで線径0.61mmの1枚ものステンレス製金網1枚、14メッシュで線径0.56mmの1枚ものステンレス製金網2枚を入れている。ハニカム及び金網の間はそれぞれ1,000mm離して取り付けられている。風水洞として使用したときにスプレーが飛び交い、金網メッシュに水滴が付着して目詰まりすることを防ぐために、風洞専用のステンレス金網よりややメッシュが粗く、線径も太いものを採用している。

縮流洞は風を絞って風速を一樣にするのに適したノズル形状をしており、その絞り比は1:6に採られている。

4.2.3 計測洞

境界層風洞として使用した場合に大気境界層をシミュレートした風速分布を再現した計測洞の中で一般船舶や海洋構造物の実験が行える様に、計測洞は高さ2m、幅3m、長さ15mである。

写真18-aは閉鎖型計測洞内部を風上方向に見たもの、写真18-bは外側から見たものを示す。

計測洞の一部(3.5mの可動計測洞)を取外し、長さ1.0mのベルマウス(写真19)を取付ると、開放型風洞として長さ2.5mの計測部が得られる。この計測部長さは天井走行クレーンの吊り上げ荷重制限(2.8t)から可動計測洞長さが3.5mに決まったために2.5mと短く、開放型計測部としては不本意な長さとなっている。

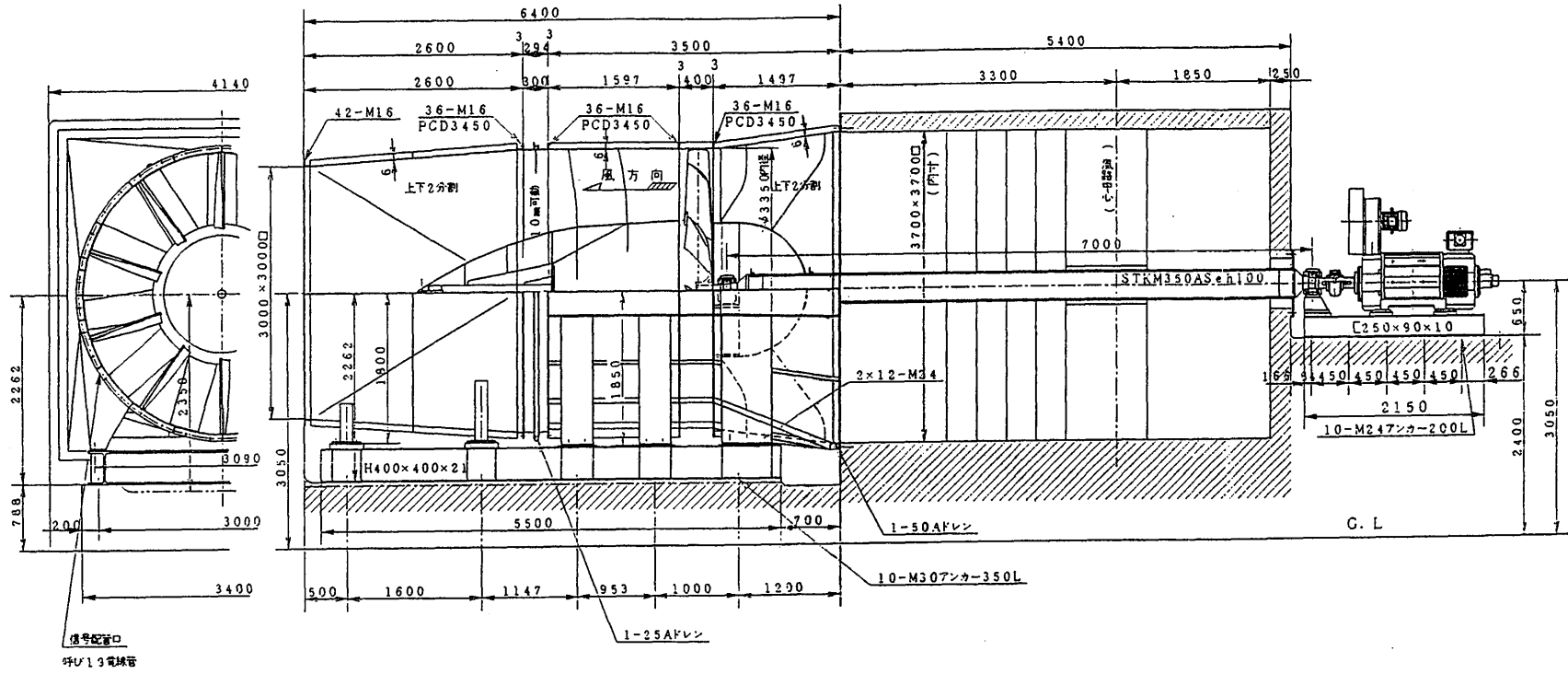


図4 送風機・電動機系組立図

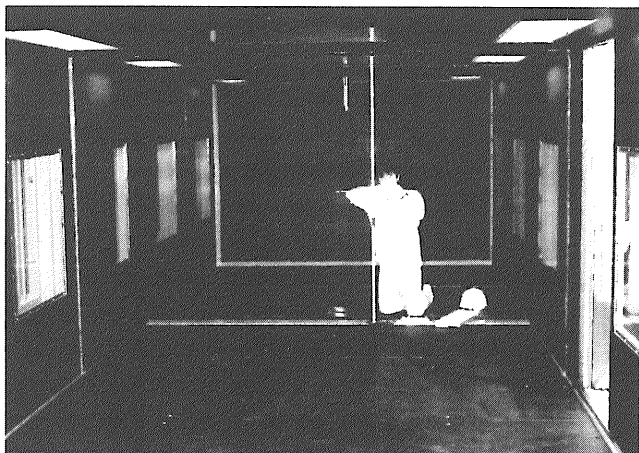


写真18-a 閉鎖型計測洞内部(風上側を見る)

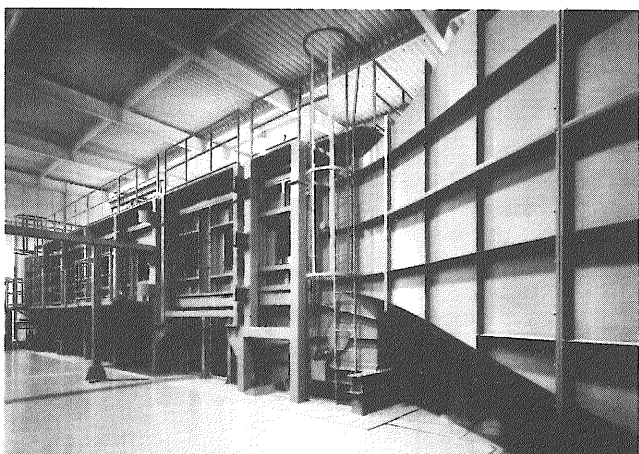


写真18-b 閉鎖型計測洞

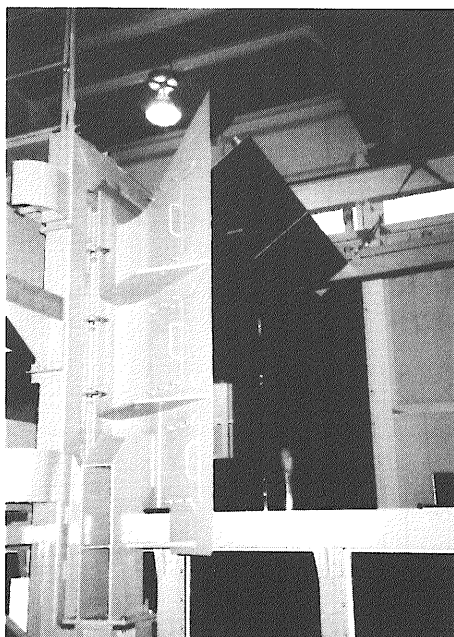


写真19 ベルマウス

第2回流洞にある仕切扉を閉め、吸気扉及び放風扉を開くと、吹出し式可視化風洞になる。

長さ15mの計測洞は上流から1.5mの上流側固定計測洞、3.5mの可動計測洞、10mの下流側固定計測洞から構成されている。計測洞は鋼製枠組みに厚さ24mmの耐水ベニヤ製合板張りであり、写真撮影時にハレーションを起こさないように黒色防水塗装を施している。

上流側固定計測洞、可動計測洞、下流側固定計測洞には両側壁に縦950mm×横800mm×厚さ10mmの亚克力製観測窓がそれぞれ1カ所、2カ所、8カ所、天井に950mm×950mm、厚さ10mmの観測窓がそれぞれ1カ所、1カ所、4カ所、計28カ所の観測窓がある。

下流側固定計測洞の計測・準備室側には人の出入りや模型等の搬入出のために両開き扉がある。照明器具として、上流側固定計測洞の天井には20W、2灯の蛍光灯器具が左右に1対、可動計測洞に1対、下流側固定計測洞に4対の計12基取り付けられている。

計測洞は気流による境界層の発達を考慮して、本風水洞では一般船舶や海洋構造物などの模型実験に一番使われると考えられる風速20m/sの時における境界層排除厚さ相当分を両側壁に付加し、4/1000の勾配で風下側に拡大させて境界層補正を行っている。

ベルマウスは計測部が開放型の時に使用し、上流側固定計測洞より噴出した気流が片側10°づつ広がっても下流側固定計測洞に戻るように計画されている。また、ベルマウスには上下に各4カ所、左右に各3カ所の計14カ所の気柱振動防止用空気吸込み口を備えている。通常、ベルマウスは実験棟内の専用架台の上に置かれており、使用時には天井走行クレーンで釣り上げて下流側計測洞に取り付けられる。

当初、天井走行クレーンが設置できないこと(別途予算による工事)も考えられたので、計測洞床は人力で出し入れできるように極力軽量化を図った。また、床は曲げ剛性を高めるために厚さ100mmのアルミハニカムを用い、その両側を厚さ6mmの耐水ベニヤ板でサンドイッチした構造を採用している。そのため、計測洞床長さ15mを10等分し、1枚の床板は長さ1.5m×幅3mとし、計測洞床をこの10枚の床板で敷き詰める構成としている。それぞれの床板は撤去、敷設が容易に行えるように、それらの下面四隅にリニアベアリング(商品名:LMガイド)を取り付け、水槽側壁上面に敷いたレール上を軽い力で移動出来る様になっている。計測洞床板の取付け、取外しは可動計測洞を取外して行う。

4.2.4 拡散洞、回流洞及び異形洞など

風洞部の第1拡散洞、第1、第2回流洞は厚さ270mmのRC造りである。第1拡散洞は角型ディフューザで、片側広がり角は左右それぞれ約4.7°、上下それぞれ約2.1°である。風路部のRC部は防音性能を高めるために通常の工作物より厚めにしている。異形洞、第2拡散洞は厚さ6mmの鋼製である。異形洞は送風機洞の円断面から第1

拡散洞の正方形断面に接続させる洞である。第2拡散洞は角型ディフューザで、片側広がり角は左右それぞれ約1.2°、上下それぞれ約4.8°である。

第2拡散洞には上下左右の4面の各面に2行2列の計16枚の静圧調整扉および計測・準備室側に片開きの出入り扉がある。静圧調整扉は閉鎖型計測部の時には流れ方向の静圧勾配の制御、開放型の時には気柱振動を防止するための風量調整に使用する。

第1回流洞には1組の鋼製コーナーペーンすなわち第1、第2コーナーペーン(写真20)が、第2回流洞には第3コーナーペーン(写真21)、第4コーナーペーンがある。コーナーペーンの翼形は円弧の前後に直線部を接続し、前縁、後縁部を丸めた板金製翼形である。表6にコーナーペーンの諸元を示す。

第4コーナーペーンの前には送風機に人やモノが巻き込

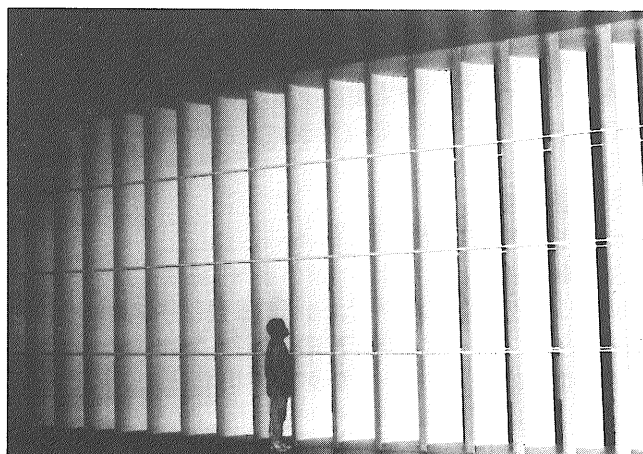


写真20 第2コーナーペーン

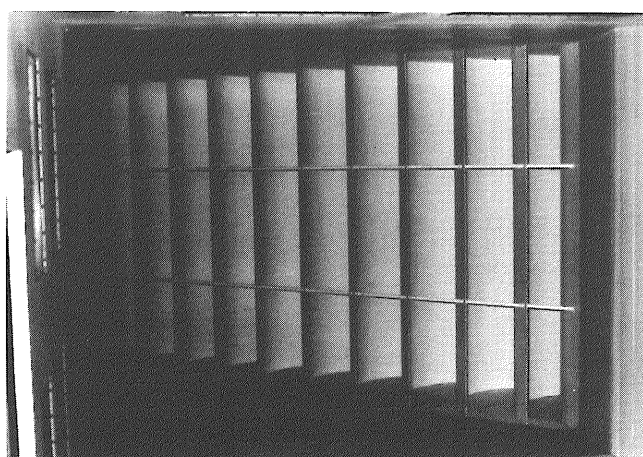


写真21 第3コーナーペーン

表6 コーナーペーンの諸元

名 称	内面幅	x	内面高さ	翼弦長	ペーン枚数	翼 型
第1コーナーペーン	10,326mm	x	4,900mm	1,100mm	18	板厚6mmの平板円弧翼
第2コーナーペーン	10,326mm	x	4,900mm	1,100mm	18	板厚6mmの平板円弧翼
第3コーナーペーン	5,067mm	x	2,700mm	1,100mm	11	板厚6mmの平板円弧翼
第4コーナーペーン	3,700mm	x	5,235mm	1,100mm	12	板厚6mmの平板円弧翼

まれないように3メッシュのステンレス製防護金網が張られている。第2回流洞の天井には左右に20W、2灯の蛍光灯器具が1対付いている。

4.2.5 その他

点検扉は第1拡散洞、第1回流洞に各々1個、集合洞に5個、第2回流洞に2個設けられている。

風水洞として使用する時には風洞部と水槽を分けている計測洞床を取外し、上流側固定計測洞出口下端と水面との間にできた0.3mのエアー・ギャップに対して、気流を水面まで滑らかに下げる役目をする可動式導風板を取付ける。

風洞部は風水洞としての使用を考えて出来るだけ防水対策を施すと共に、RC部にはドレーン抜きを設けている。また、風水洞として使用した後は風路内に溜まった水をドレーン抜きから排水し、風洞部をエッフェル型にして出来るだけ早い時期に放風運転を行って、溜まった湿気をパージする事にしている。

4.3 水路部

水路部は計測洞の下にあり、水槽、回流装置、造波装置、消波装置で構成されている。水槽は、長さ17.6m、幅3.0m、高さ1.8m(標準水深1.5m)の鋼製で、両側面には各10カ所、計20カ所の安全ガラス製の大型観測窓が取り付けられている。水槽は分解可能な組立式であり、水槽底面は水槽に浮かべた模型の運動や状態を観察し易いように実験棟床面と同じ高さに設置されている。

前面消波装置は木製の横木を鋼製枠組みのスロープ上に等間隔に並べたビーチ式であり、造波板後部には消波箱の中に太めのプラスチック製の金属たわし状詰めものを詰めた箱型消波装置がある。

水槽への給水は水道管直結で、フロート式水位計により標準水深1.5mまで自動給水出来る。また、水槽からの排水は自然排水後、ピット内にある排水ポンプで残りの水を屋外へ排水する。排水ポンプは自給水ポンプ(荏原製作所製、形式:SQ型、容量0.25m³/min、吸込み揚程-5m、吐出し揚程10m)を使用している。

表7に水路部の主要目を示す。

4.3.1 造波装置

当初、計画では造波装置としてソルター・ダック式を予定していたが、この造波装置から発生する波の特性が良く把握できないので、途中より当所で使用実績があり、造波特性も良く分かっているフラップ式に変更したものを使用している。写真22に造波機駆動部を示す。また、当初最大波高0.1mの波まで発生できる造波装置を予定していたが、大波高の波に対する所内の要望が高まったので、最大波高

を0.3mとしてフラップ板の首振り角の範囲を大きくし、造波機駆動ACサーボ電動機の出力を1.5kWから2.2kWに増強している。

以上の変更によって本装置は幅3mに渡り不規則波及び周期0.6～4.0s、最大波高0.3mまでの規則波を発生できる。

4.3.2 回流装置

年次進行に伴う予算不足から、本格的回流装置を安価な簡易型に計画変更している。すなわち、計画では流路全断面で最大流速0.3m/sを発生できる可変ピッチ型軸流ポンプ方式の回流装置(ACサーボ電動機出力22kW、口径700mm^φ、流量84m³/min、回流管径850mm^φ)であったものを最大流速を維持しながら流れを水槽表面付近の一部に集中して流す簡易式回流装置として、計画流量の約1/6規模の斜流渦巻ポンプ方式(AC電動機出力22kW、ポンプ：荏原製作所製、形式：SZ型、揚程6m、口径300mm^φ、流量13.5m³/min、回流管径350mm^φ)に縮小している。また、流れも風向きとその逆方向の両方向の流れを発生できる本格的回流装置から風向き方向のみの流れしか発生できない簡易型回流装置に変更されている。

表7 水路部の主要目

水路部主要目	
水槽	鋼製 3m(W)x1.8m(H)(標準水深1.5m)x17.65m(L)
造波・消波装置	
造波形式	フラップ式
最大波高	30cm
周期	0.6～4.0s
発生波形	規則波、不規則波
駆動電動機	交流サーボモータ、2.2kW
消波装置	前面：ビーチ式、後面：箱型
回流装置	
形式	斜流渦巻ポンプ回流式
駆動電動機	交流22kW
最大流量	13.5m ³ /min
回流速度	0～0.3m/s
流れ方向	風軸下流方向

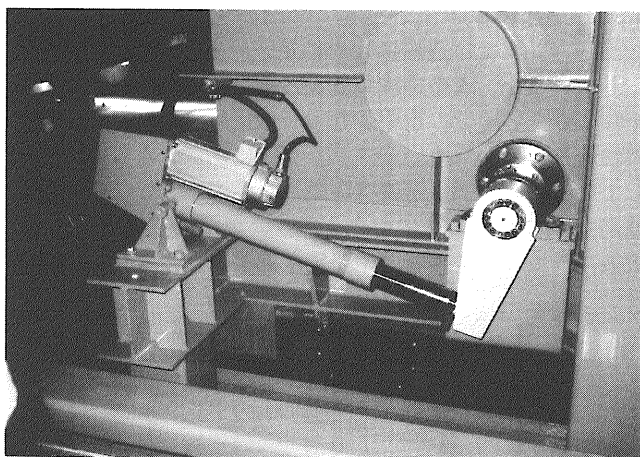


写真22 造波板駆動部

回流管路は350Aの鋼管であり、200Aの鋼管4本からなる吐出し側と吸込み側マニホールドにより水槽と接続されている。

回流装置の運転は造波・回流操作盤の起動・停止スイッチを用いて行う。しかし、回流装置には簡易型を採用したために流速制御には電動機回転数を制御するなどの特別な制御を行っていない。

しかし、水槽の流速はピット内の回流用ポンプ出口にあるフロート式流量計の流量を見ながらバルブを調節して変えることができる。水深1.5mの時、可動計測洞付近の幅1.5m、長さ2m、水深0.5mの範囲で最大流速0.3m/sを発生できる。

しかし、予想された事ではあるが試験結果を見ると本回流装置による流れは吐出し側マニホールドから吹き出された水流が水面を突き上げる一種の噴流形流れとなり、表面付近を流れて終端の吸込み側マニホールドより急激に吸込まれる水流となっている。その水流の下に大きな再循環流れが形成され、両者が相まって、不安定で、非一様な流れ場をつくっている。回流装置はこの様な状態にあるので、今後予算措置が出来た時点で改造したいものと考えている。

4.4 制御装置

4.4.1 送風制御装置

送風制御装置として計測・準備室内に送風操作盤、実験棟内にシーケンス回路をもつ送風制御盤(写真23)、電動機室にサイリスタ・レオナード制御を行う電動機盤がある。

交直変換にはサイリスタ変換器(安川電機製、460V-550A、形式：CDMR-WⅡ-L)を用いている。

送風制御としては送風機直結直流電動機に対してサイリスタ・レオナード制御を行い、パソコン(写真24)により全

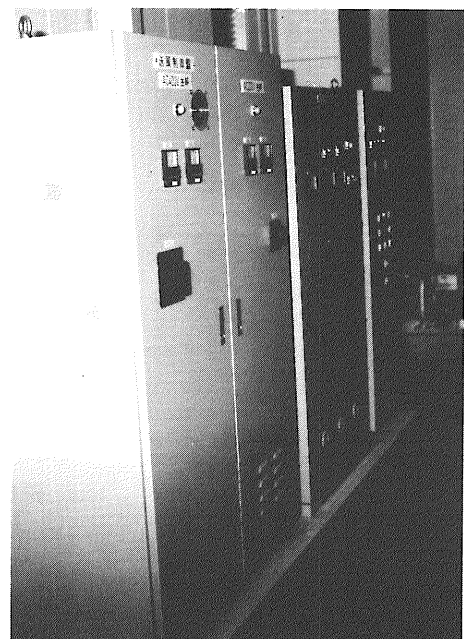


写真23 送風制御盤

回転数領域に対して指令回転数に対する実回転数を±0.1rpm以下の誤差で設定・制御できる。

送風操作は手動操作の場合以外、送風操作盤での起動・停止及び風速調整などの操作を行わず、制御用パソコン(NEC PC9821Ae)より行う。制御用パソコンで作った送風



写真24 制御用パソコン

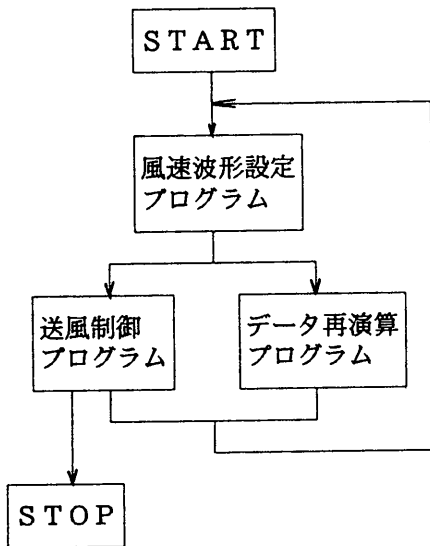


図5 送風制御のフロー

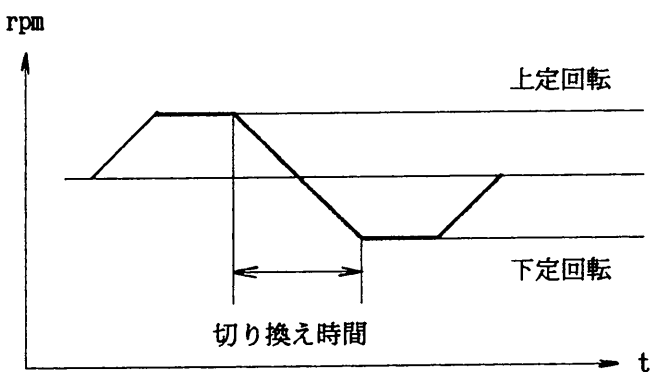


図6 台形波変動風の設定

信号をD/A変換し、送風操作盤に風速指令を与えると共に、DI/Oボードで送風操作盤の状態確認とシーケンス制御を行っている。

当初、計画で予定していた変動風発生時の風量調整を行う放風扉・吸込み扉制御と第2拡散洞でのNACA-0012対称翼式可動翼列制御によるダンパ方式変動風発生装置が予算の制約から取り止めとなったので、ここでは変動風発生法として送風機直結の直流電動機回転数を直接制御する回転数制御方式を用いている。本変動風発生法による変動風の風速の周期は長い、大振幅の変動風を発生できる。

図5に送風制御のフローを示す。送風制御プログラムは次の3本のSHIP-T、FLOW-TS、FLOW-DSより構成されている。

(1) 風速波形設定プログラムSHIP-T：送風機駆動電動機への回転数指令出力を設定する。波形設定は波形式より次の定速風、正弦波、台形波を選択するか、既存の波形データファイルを用いる。

- ・定速風では風速に対応した送風機回転数を与え設定回転に達したら、現在風速を見ながら目標風速に達するまで送風機回転数を微調整する。

- ・正弦変動風では回転数指令 Y (rpm)を

$$Y = A \sin \omega t + B \sin 2 \omega t + C$$

の式で与えて発生させる。ここで、 A 、 B 、 C は定数(rpm)、 $\omega = 2\pi/T$ は角振動数、 T は周期(s)、 t は時間(s)、 π は円周率である。

正弦変動風は最大平均風速13.0m/sの時、振幅±50%、周期25~50sまでの変動風を発生できる。

- ・台形波変動風では上定回転数(rpm)、下定回転数(rpm)および切り替え時間(s)を与えて発生させる。図6に台形波変動風の設定を示す。

- ・三角波変動風は台形波変動風で定回転数部をゼロに設定することにより発生できる。

正弦波、台形波変動風では発生させた風速を解析し、目標波形に近づくまでチューニングを繰り返す事により目標とする変動風を発生できる。

(2) 送風制御プログラムFLOW-TS：風速波形設定プログラムに拠って設定された波形データを基に200ms毎に回転数指令を送風機駆動電動機に送り、開ループで送風制御を行う。

(3) 送風データ再演算プログラムFLOW-DS：送風結果と目標風速波形を比較し、送風(回転数)指令データの最適補正を行う。

停止状態より風速30m/sに達するまでの所要時間は32sであり、風速30m/sより停止までに要する時間は26sである。

4.4.2 造波制御装置

計測・準備室に造波・回流操作盤、実験棟に造波・回流制御盤があり、出力2.2kWのACサーボモータでピストンを駆動し、それによってフラップ式造波機を動かしている。

造波操作は手動操作の場合以外は造波機操作盤は使わない。通常は、送風制御用に用いている制御用パソコンで造波波形を作成し、これをD/A変換して造波信号演算器に波形信号を格納する。ここに格納した波形信号を造波機操作盤に送り、造波機を制御している。

造波プログラムは次のREGLR、COEFF、RANDM、ZOHAから構成されている。

- ・規則波電圧出力プログラムREGLR：二次元規則波パラメタの出力を行う。
- ・補正係数ファイル管理プログラムCOEFF：補正係数ファイルの更新・確認を行う。
- ・不規則波作成プログラムRANDM：不規則波用パラメタの作成・確認を行う。
単峰型スペクトルを持つ波として関数型入力を行うブレットシュナイダー・光易型スペクトルやJONSWAP型スペクトル、周波数 f とその周波数でのスペクトル値 $S(f)$ を対にして入力する折れ線スペクトル及び双峰型スペクトルを持つ波を発生できる。
- ・指令信号出力プログラムZOHA：RANDMにより作成されたファイル中のパラメタを造波信号演算器に出力を行う。

(1) 規則波の発生

メインメニューよりREGLRを選択し、波振幅、周波数、初期位相を入力し、データを信号演算器へ出力し、造波機操作盤をコントロールする。波データ収集を行うには波データ収集・解析(4.5.6項で述べる)SHUSHUプログラムを用いる。図7に規則波発生のためのフローを示す。

(2) 不規則波の発生

メインメニューよりCOEFFを選択し、造波結果に対する振幅補正係数を設定し、次にRANDMを選択し、期待スペクトル、周波数分割数などの設定をする。次に、ZOHAを選択し、信号演算器に出力し、造波機操作盤をコントロールする。図8に不規則波発生のためのフローを示す。

更に、図8のフローに従いZOHAの後、図13の波データ・解析を行い、造波スペクトルが期待スペクトルをほぼ満足するまで図8のフィードバックを繰り返す。

4.5 計測装置

風洞部計測洞には3次元トラバース装置、上部には6分力天秤機構部が設置され、床面にはターンテーブルを設置

できる。

各種計測器のほとんどとパソコン類は計測・準備室(写真25)にある。

4.5.1 トラバース装置

一般に開放型風洞で使用されるトラバース装置は物体前後の風速や圧力を計測するために、計測部の外よりピトー

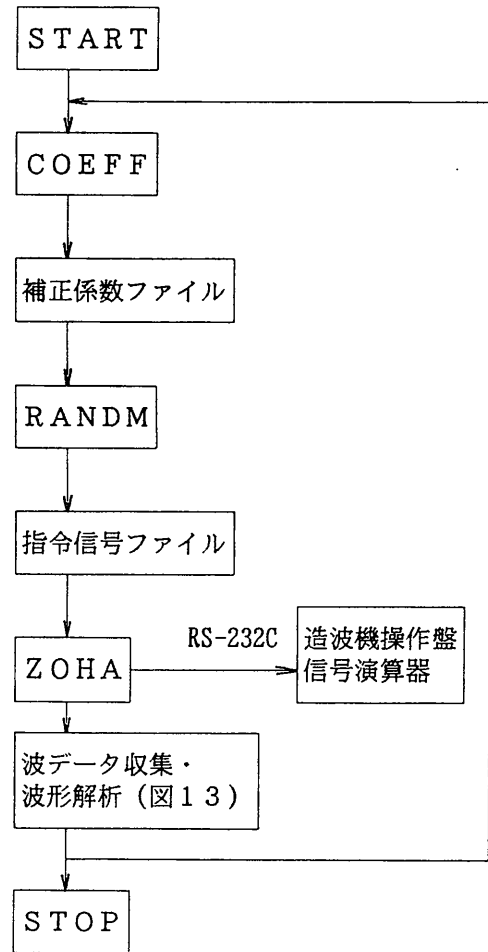


図8 不規則波発生のためのフロー

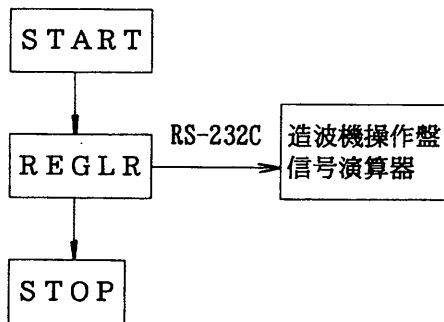


図7 規則波発生のためのフロー

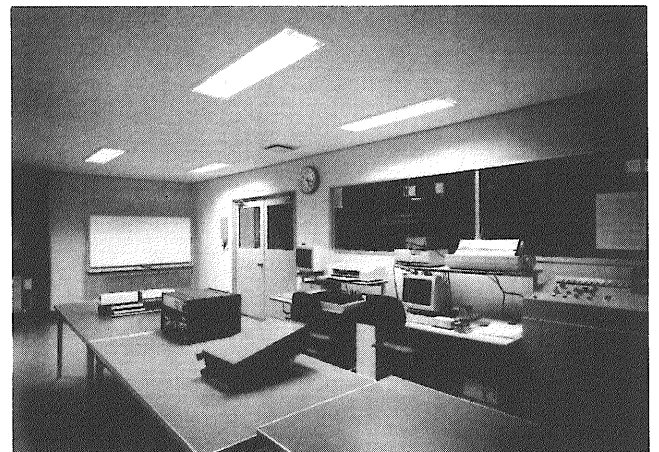


写真25 計測・準備室

管や熱線などのセンサー類を差し込む、外挿式の2、3次元タイプのものが多い。一方、境界層型風洞ではそれらを計測するために計測洞内をトラバースする事が多いので外挿式のものでは取扱いに厄介なので計測洞内に組み込んだ内挿式のものが多い。本施設では内挿式3次元トラバース装置を採用し、境界層型風洞や風水洞の時ばかりでなく開放型風洞でも使える様に、後者用には取付け・取外し可能な専用レールも設けている。

写真26-aに開放洞状態のトラバース装置を、写真26-bに閉鎖型洞内におけるトラバース装置を示す。

本トラバース装置は内挿式のために風洞の断面閉塞率が問題となるのでこれを極力小さく抑え、かつ機構部にはフェアリングを設けたが、計測洞が幅広のために強度上から機構部断面積が大きくなり、このために断面閉塞率は8.5%と一般の風洞で用いられているものより大きな閉塞率となっている。

トラバース装置を計測洞内の3次元メッシュに切った格子点上で動かすために、専用パソコン(NEC PC9821Bs2)を用いている。メッシュ作成プログラムは風下方向(X軸)に最大50点、横方向(Y軸)に最大100点、高さ方向(Z軸)に最大100点を設定でき、計測洞内の境界層分布や物体背後

の後流速度分布などの計測を考慮して、トラバース装置の3軸の動く優先順位をZ軸、Y軸、X軸の順としている。現在、計測の自動化には問題があるので行っていない。このためにトラバース装置の移動にはメッシュ作成プログラムでメッシュ点の設定を行った後、トラバース装置を1ステップずつ移動させ、その点の圧力や風速の計測が終了した時点でパソコン・キーボードのリターンキーを叩くことにより、次のステップへ移動できるようにプログラミングしている。

3次元トラバース装置の移動範囲は風軸方向12,000mm、左右方向2,000mm、高さ方向1,200mmである。

表8にトラバース装置の主要目を示す。

4.5.2 ターンテーブル

ターンテーブル(写真27)は風洞として使用する時に、模型にヨー角(偏角)を与えるために用いる。ターンテーブルに取り付けた模型の偏角は主に計測室の計測・制御用パソコン(NEC PC9821As)によって、テーブルの昇降はリモートペンダントによって操作を行う。

表8 トラバース装置の主要目

トラバース装置	
形式	計測洞内挿3次元移動型
移動範囲	X軸 : 12,300mm
	Y軸 : 2,000mm
	Z軸 : 1,200mm
位置決め精度	X軸 : ±2.0mm
	Y軸 : ±0.5mm
	Z軸 : ±0.5mm
移動速度	X軸 : Max 100mm/s
	Y軸 : Max 100mm/s
	Z軸 : Max 40mm/s

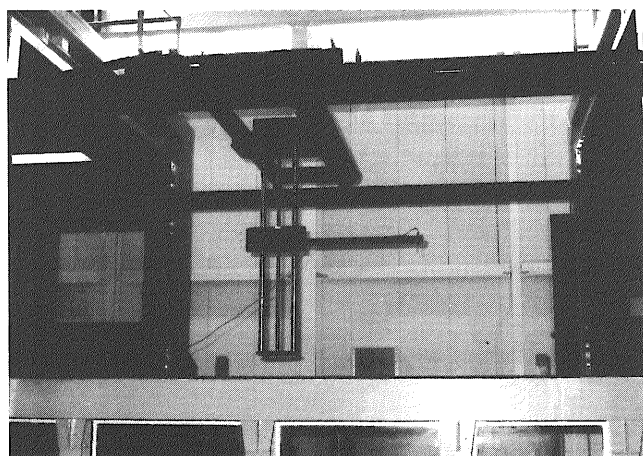


写真26-a トラバース装置(開放型時)

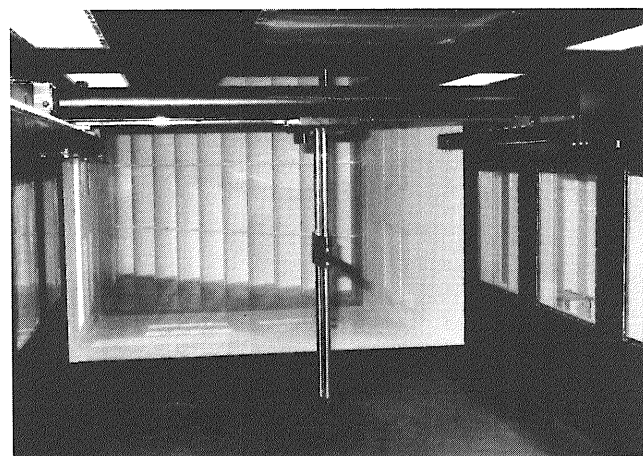


写真26-b トラバース装置(閉鎖型時)

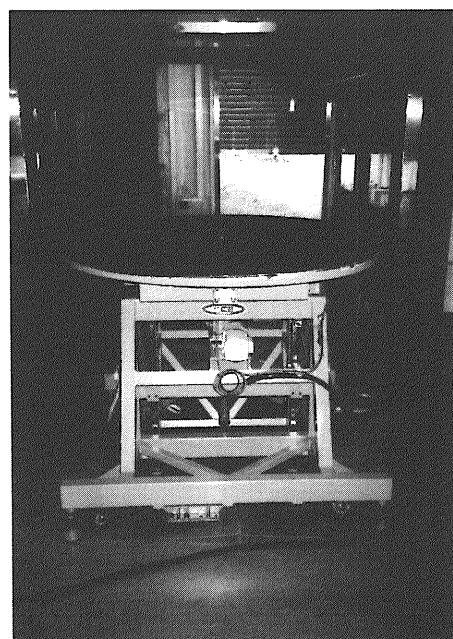


写真27 ターンテーブル

ターンテーブルは模型のセッティングが容易なように、テーブル面に厚さ24mmのベニヤ板を張っている。テーブル面の中心には直径150mmの穴があり、将来3分力乃至6分力検力計を埋め込み、検力計付きターンテーブルとして使用できるように計画されている。また、模型内にセンサーを埋め込んで試験する際などには模型からこの穴を通し、計測洞側壁の穴から風洞の外へ信号ケーブルなども引

表9 ターンテーブルの主要目

ター ン テ ー ブ ル	
形 式	計測洞下部設置型
移 動 範 囲	θ 軸 : $\pm 200\text{deg}$ Z 軸 : $-450\sim+50\text{mm}$
位置決め精度	θ 軸 : $\pm 0.2\text{deg}$
回 転 速 度	θ 軸 : 2deg/s
移 動 速 度	Z 軸 : 8mm/s

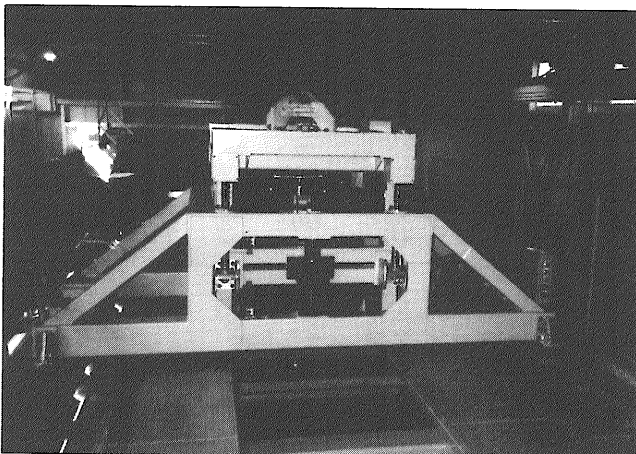


写真28-a 6分力天秤模型支持機構部

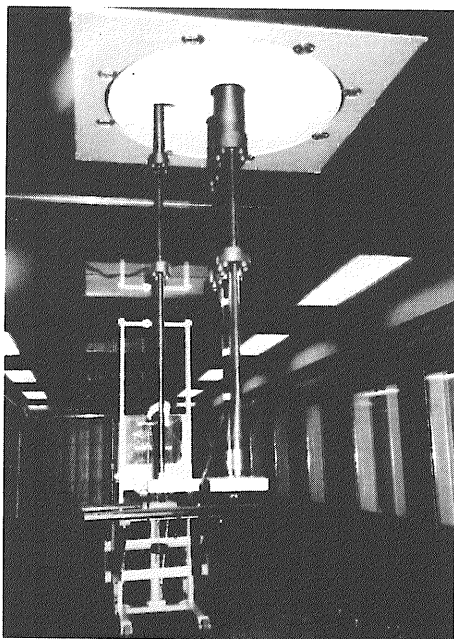


写真28-b 6分力天秤ストラット部

出せる。

本装置の足にはキャスターが付いており、本装置を水槽底面に取付けたガイドレールに沿って移動させ、計測洞床長さ1.5m毎の位置に設定して使用できる。ターンテーブルを使用する時には中央に直径1.8mの穴の開いた2枚1組の専用床板を用いる。ターンテーブルの直径は1.8mあり、大型模型をセッティングすることができる。

表9にターンテーブルの主要目を示す。

4.5.3 6分力天秤

6分力天秤(日章電機製)は気流中または風水洞の静止模型に作用する静的な力とモーメントの計測に用いられる。写真28-aに6分力天秤の模型支持機構部を、写真28-bにストラット部を、写真28-cに計測部を示す。

最近の風洞で用いられる6分力天秤は一般にロードセルを用いる検力計方式で、天秤本体を計測洞床下に設置し、その床面から模型を支持するストラットを出す方式が多い。しかし、本天秤は風水洞時にも使えるように機構部を計測洞上部に置いている。このために計測洞天井より3本のストラットを出してこの先に6分力検力計を取り付ける構造としている。本天秤で機構部と検力計を分けた理由は機構部に6分力検力計を組込むと天秤装置の高さが高くなり、これを計測洞上部に設置すると吊上げ治具を用いても天井走行クレーンでは吊上げられなくなるからである。反面、機構部と検力計を分離したメリットとしては用途に応じた最適の検力計を取付けて使用できることである。

ストラットは計測洞上部にある模型支持機構部により常に風上に正対でき、その断面形状は細長い楕円形である。また、ストラットは風水洞時には計測洞床面と同じレベルまで延ばして水槽に浮かべた模型が支持でき、風洞時には計測洞の中心に模型が設定できるように分割構造のものを

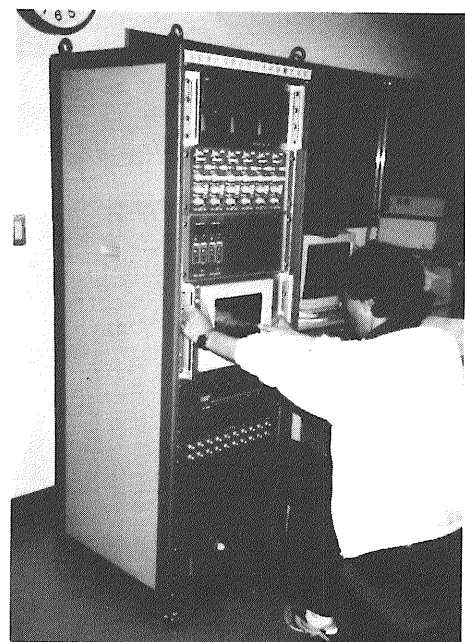


写真28-c 6分力天秤計測部

用いている。

6分力検力計は模型に働く揚力、抗力、横力の3分力、ピッチングモーメント、ヨーイングモーメント、ローリングモーメントの3モーメントを同時に計測できる。日章電機製の6分力検力計は歪ゲージ式で、独特の構造により模型に作用する6分力を計測できる。この検力計の歪ゲージは1成分につき16枚の計96枚を使用している。これらの検力計の歪ゲージにより各成分間における2次の干渉成分まで補正を行っている。

本天秤では6分力検力計として、風洞で用いる空気力専用の非防水型と風水洞で使う防水型を備えている。現在、海面効果翼船(WIG)用としてスティング型6分力検力計が計画されている。

天秤のセッティングにはまず、機構部を計測洞上部のレールを使って移動させ、次に希望する場所の計測洞天井の亚克力製観測窓を外し、スライド式遮蔽板、ストラットや検力計を取付け、最後に模型を設定する。

本天秤は計測部が開放型の時にも使用出来るように、機構部移動用の取付け・取外し可能な専用レールを備えている。

天秤制御部はタッチセンサー式画面をもつパソコンを内

蔵しており、模型の上下、ヨー角、ピッチ角、ロール角などの制御や設定が簡単にできる。

表10に6分力天秤の主要目、図9に全体図及び図10に制御フローを示す。

4.5.4 3次元熱線流速計システム

3次元熱線流速計システム⁹⁾は米国TSI社製で、ラップトップパソコン(東芝J-3100SGX)に解析ソフトDAP-3ATをインストールしている。

温度センサーは銅・コンスタンタン熱電対であり、温度計測と熱線の風速信号に対する温度校正に用いる。

3次元熱線プローブは3本の互いに直交する薄型円筒ホットフィルム(熱膜)で構成されている。このプローブは校正データがフロッピーディスクベースで提供されているので、風洞での面倒な3次元の校正を必要とせずに直ちに使用できるので便利であるが、反面高価である。

IFA100は定温度型熱線流速計および信号処理器各3台で、IFA200は4チャンネルの12ビット高速A/D変換器(サンプリングレート:最大50kHz)で構成されている。

データ解析ソフトはキャリブレーション、データ収録、データ解析プログラムの3本から構成されている。

(1) キャリブレーションプログラム: 全風速範囲での風速の校正、各熱線のヨー角特性およびピッチ角感度を求める。

(2) データ収録プログラム: 風速および温度信号をデジタル電圧値として収録する。

(3) データ解析プログラム: デジタル電圧値を直交する風速3成分に直し、風速列データとして収録する。また、直交する3方向の平均風速、乱れ強さ、流れの方向や統計量としてのスキューネス、フラットネス、レイノルズせん断応力、パワースペクトル、自己相関、クロス相関を算出し、データを表形式または2次元の図に表示する。

図11に3次元熱線流速計システムのフローを示す。

4.5.5 電子式多点圧力計測システム

電子式多点圧力計測システムHyScan 1000¹⁰⁾は米国スキヤニバルブ社製であり、IBM AT互換機(パソコン)に16ビットA/Dボードが搭載され、制御ソフトウェアHSS1000がインストールされている。

パソコンとサーボ式圧力校正器SPC-3000はRS-232Cケーブルで、この圧力校正器と制御圧モジュールCPM-3000はソレノイド制御ケーブルで接続されている。各圧力スキャナーはCSM/ZOCケーブルでケーブルサービスモジュールCSM-2000、ケーブルアダプターモジュールCAM-1000、パソコンと接続されている。

参照・校正圧力としてベビコン(吐出圧力7kg/cm²、流量45l/min)で発生した空気圧をフィルターを通してアフタークーラー付きエアドライヤー(流量0.5m³/min)で除湿し、2つの減圧調整弁で減圧した空気圧4kg/cm²、0.3kg/cm²がつくられる。この2系統の空気圧を圧力校正器に供給し、ここで参照圧および校正圧をつくり、それぞれを圧力スキャナーの参照圧ポートおよび校正圧ポートに

表10 6分力天秤の主要目

6 分 力 天 秤	
形 式	計測洞上部設置型
防水型検力計	定格負荷 Fx:50kg , Fy:50kg , Fz:100kg Mx:12kgm , My:12kgm , Mz:12kgm 定格出力:各分力共 約 10 ⁻³ 許容過負荷:各分力共 ±120% FS 非直線性:各分力共 ±0.08% FS ヒステリシス:各分力共 ±0.17% FS 相互干渉:各分力共 ±2.2% FS 零点の温度影響:各分力共 ±0.01% FS/°C 感度の温度影:各分力共 ±0.05% 読み値/°C
非防水型検力計	定格負荷 Fx:10kg , Fy:10kg , Fz:50kg Mx:3kgm , My:3kgm , Mz:3kgm 定格出力:各分力共 約 10 ⁻³ 許容過負荷:各分力共 ±120% FS 非直線性:各分力共 ±0.03% FS ヒステリシス:各分力共 ±0.1% FS 相互干渉:各分力共 ±3.3% FS 零点の温度影響:各分力共 ±0.01% FS/°C 感度の温度影:各分力共 ±0.01% 読み値/°C
迎 角	±30deg
ロ ー ル 角	±30deg
ヨ ー 角	±180deg
昇 降	±100mm

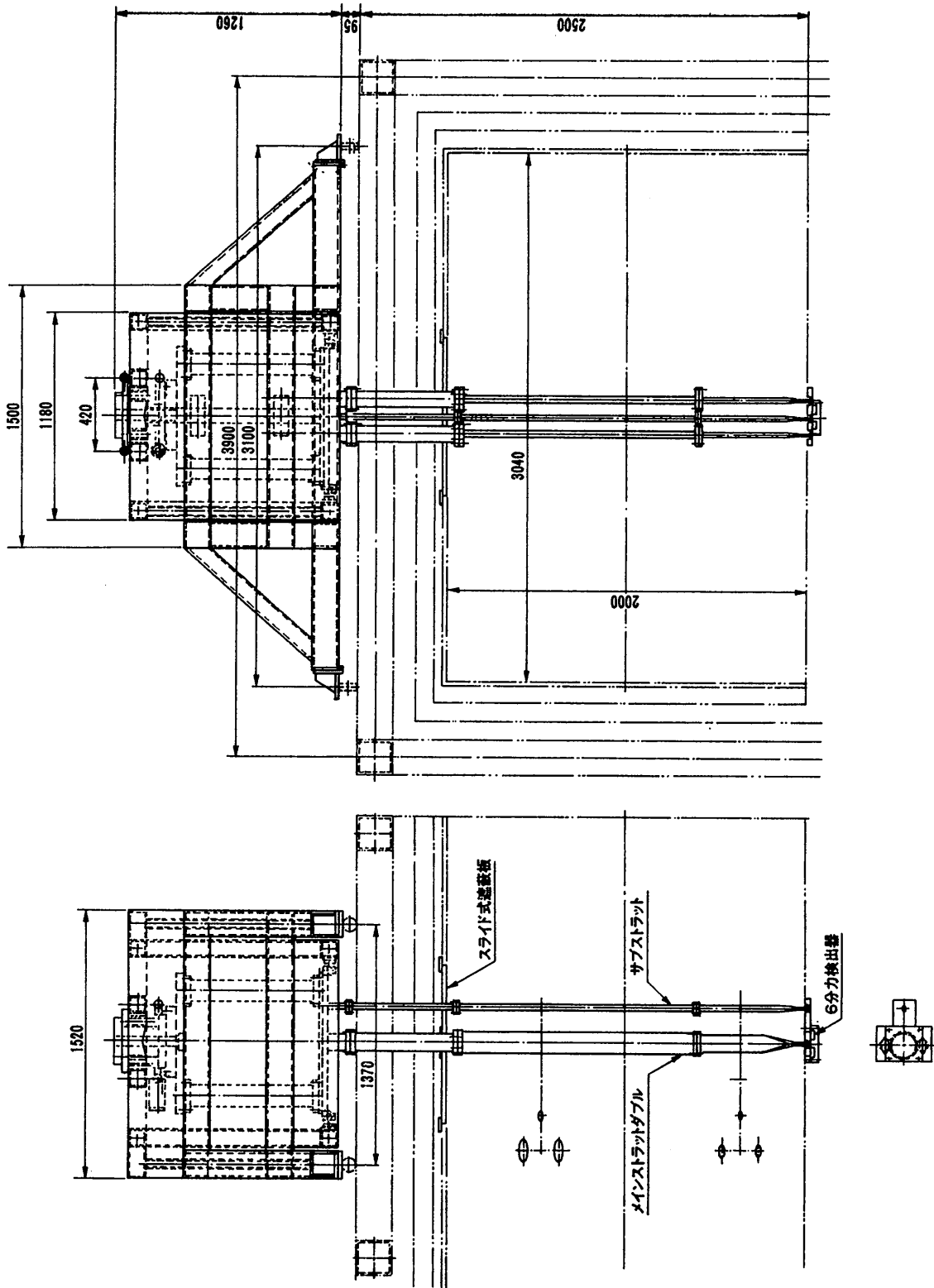


図9 6分力天秤全体図

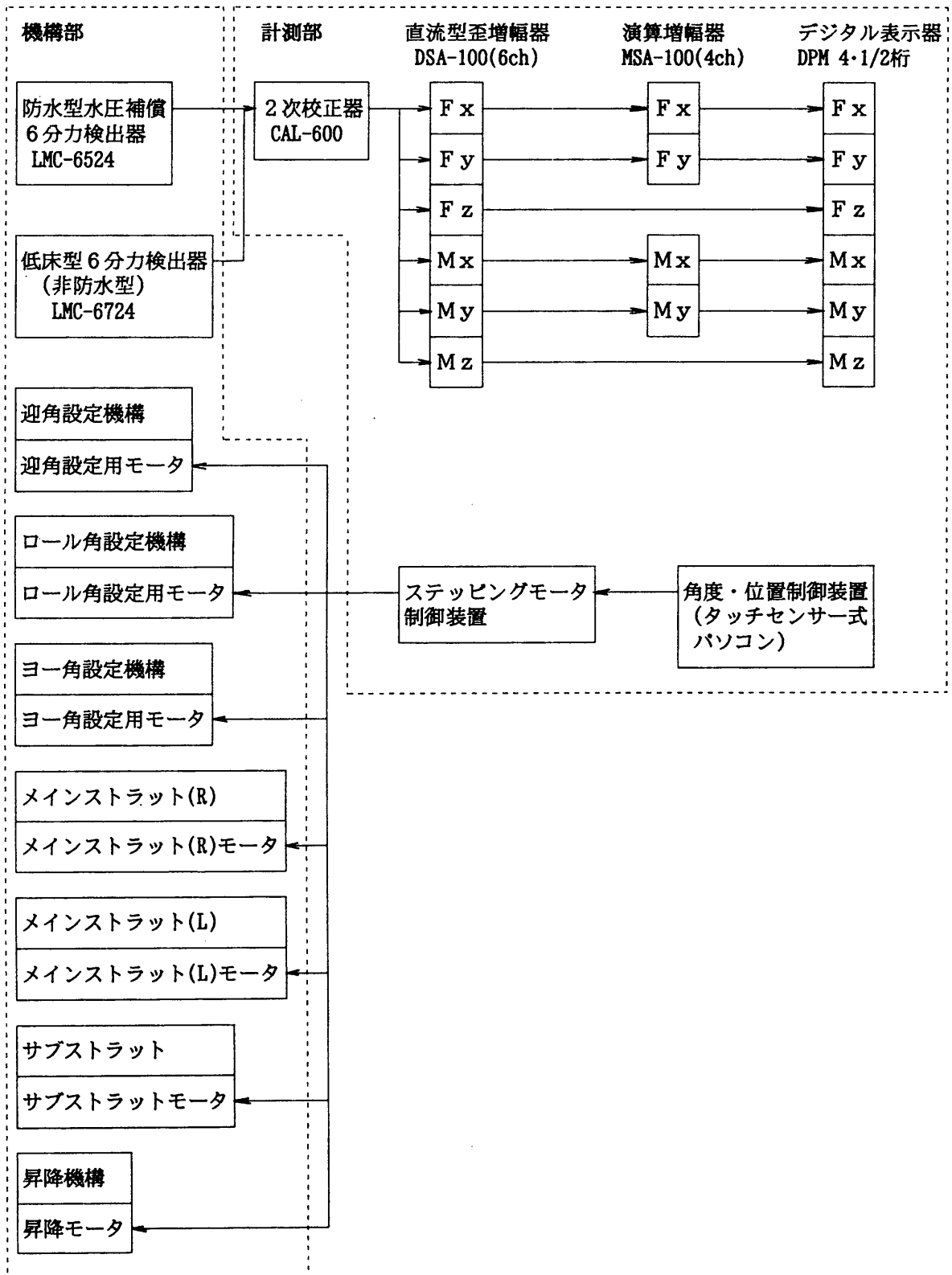


図10 6分力天秤の制御フロー

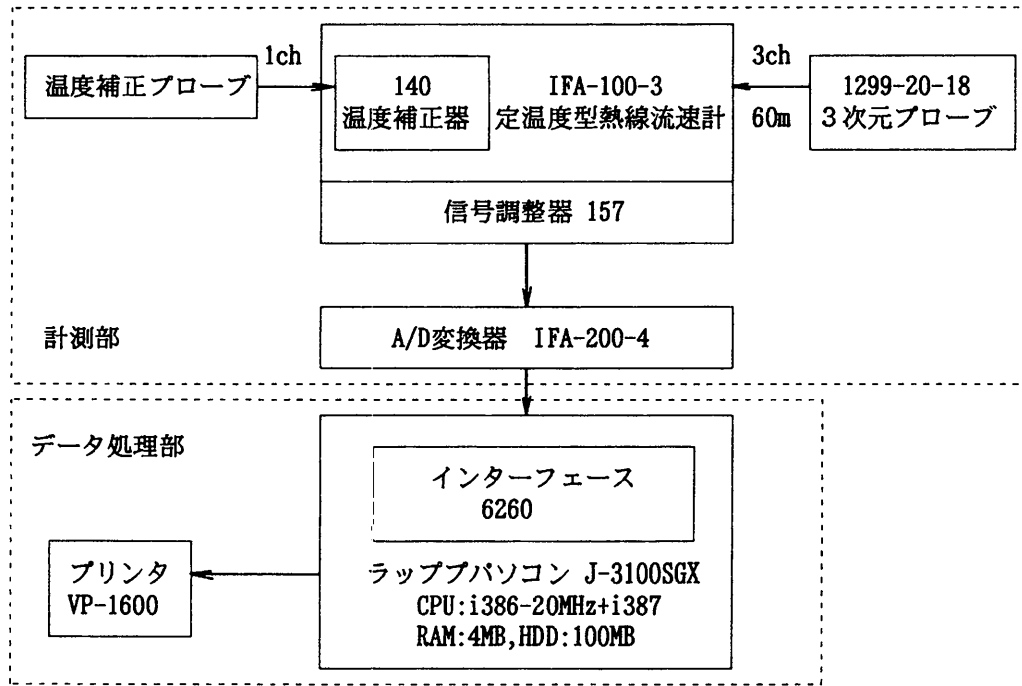


図11 3次元熱線流速計システムのフロー

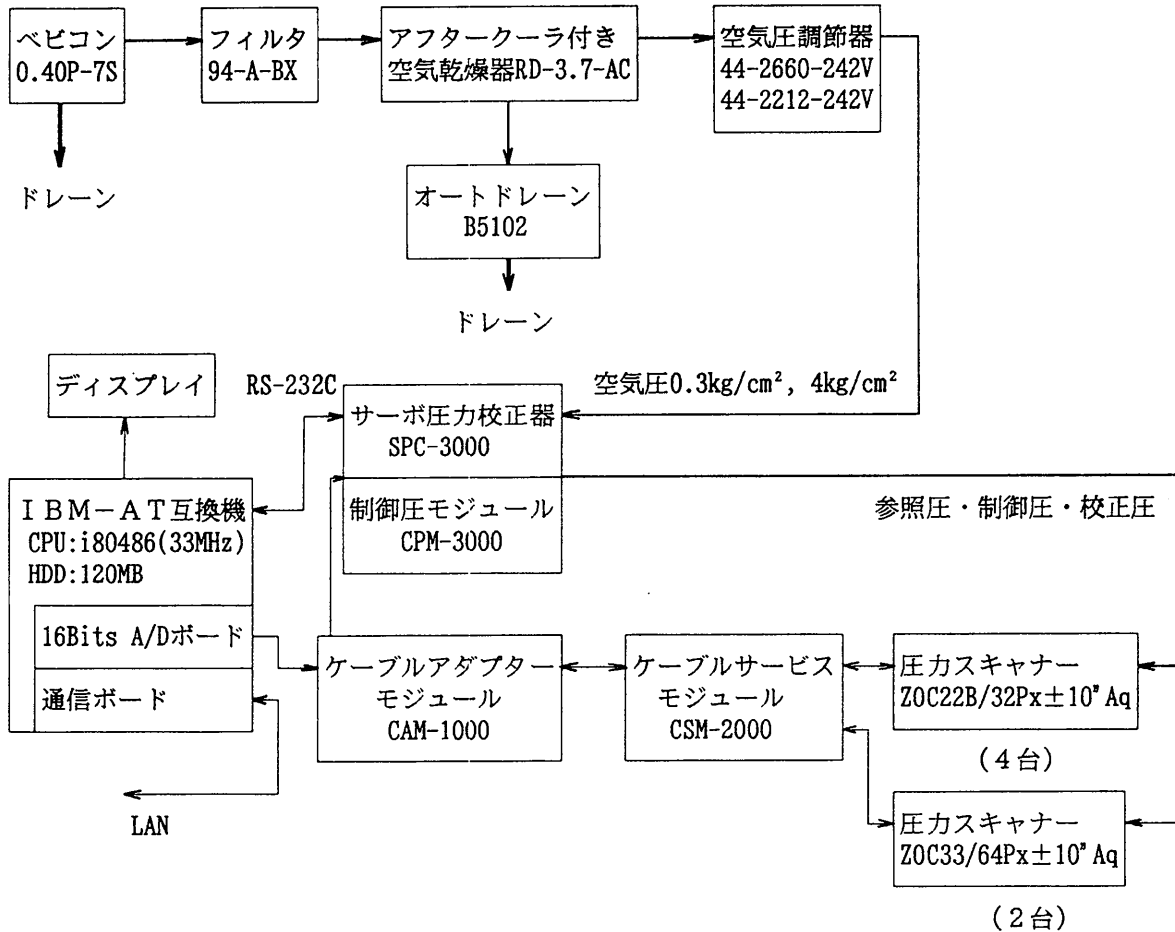


図12 電子式多点圧力計測システムのフロー

供給している。一方、減圧した空気圧 4kg/cm^2 から分岐した制御圧を制御圧モジュールに供給し、ここで校正制御圧およびPx制御圧を作り、それぞれを圧力スキャナの校正制御圧ポートおよびPx制御圧ポートに供給している。

本システムの各圧力ポート(チャンネル)をスキャンする速度は12,000チャンネル/sである。圧力スキャナの各チャンネルはそれぞれ半導体式圧力センサーを持っている。圧力レンジ10インチ水柱で32チャンネルの圧力スキャナZOC22Bが4台、64チャンネルのZOC33が2台あり、現在計256点の圧力計測を行える。

これらの圧力スキャナはコンパクトであるので、模型本体の中に組込んで使用できる。ただし、半導体式圧力センサーは小型で、動的応答性は良いが、反面温度依存性が大きいので、気流温度変化の大きい時には頻りに校正を行

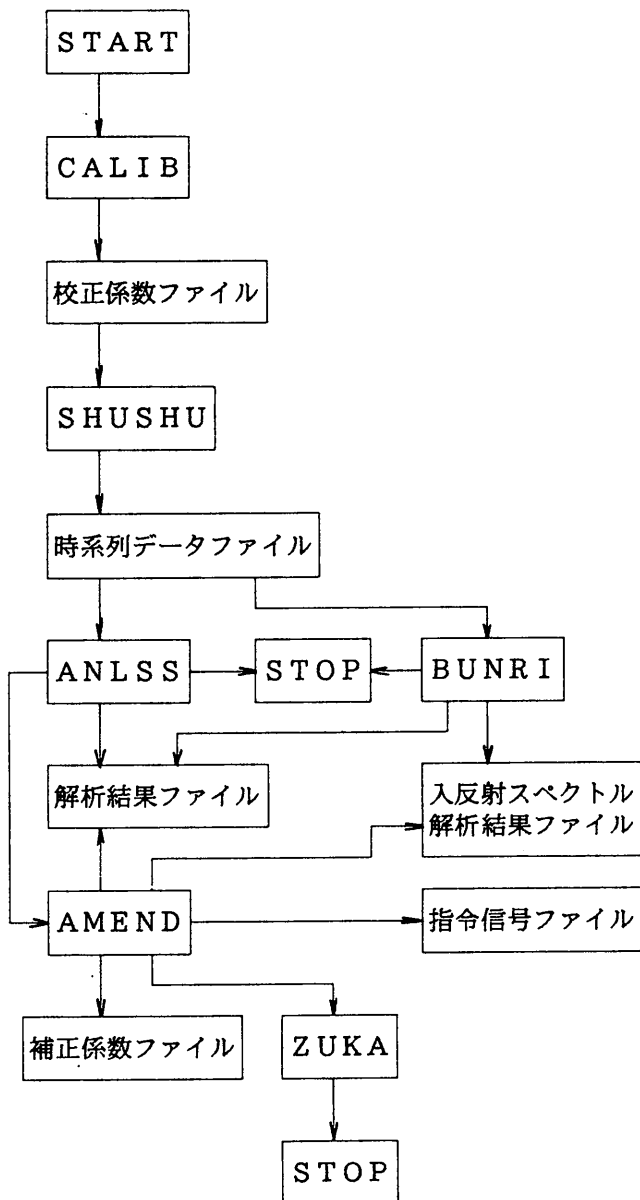


図13 波データ収集及び波形解析のフロー

うか、温度補正回路を持った特別の圧力センサーを用いる必要がある¹¹⁾。

図12に電子式多点圧力計測システムのフローを示す。

4.5.6 波データ収集及び波形解析システム

波データ収集及び波形解析プログラムは次のCALIB、SHUSHU、ANLSS、BUNRI、ZUKA、AMENDから構成されている。本プログラムは計測・制御用パソコン(NEC PC9821As)にインストールされている。

- ・波高計校正プログラムCALIB：A/D変換器の各チャンネルの校正係数を設定する。
- ・波データ収集プログラムSHUSHU：A/D変換器からのアナログデータの収集を行い、ファイルに格納する。
- ・計測波データ一般解析プログラムANLSS：SHUSHUによって作成されたデータファイルについて、統計解析、パワー・スペクトル解析を行う。
- ・計測波入反射波解析プログラムBUNRI：SHUSHUによって作成されたゼロアップ・クロス法による水位変化の時系列データファイルについて、統計解析、パワー・スペクトル解析、入反射波スペクトル解析を行う。
- ・図化プログラムZUKA：ANLSS、BUNRIによって作成されたデータ・ファイルについて表示・印字を行う。
- ・スペクトル比較修正プログラムAMEND：不規則波の造波において造波結果を期待スペクトルに合うように補正係数ファイルを修正する。

波形データの収集にはメインメニューよりCALIBを選択し、係数をマニュアル入力またはオンライン入力する。次に、SHUSHUでチャンネル数及び計測データ点数を設定し、データを収録する。更に、波形解析にはANLSSまたはBUNRIプログラムで解析結果ファイルを作成し、ZUKAで図化する。ただし、AMENDは期待スペクトルを達成するために修正が必要なときのみ用いる。

図13に波データ収集及び波形解析のフローを示す。

波形解析処理プログラムANLSS、BUNRIにより波高計校正曲線、スペクトル解析として水位への変換、平均値補正、高速フーリエ変換、オート・パワー・スペクトル、モーメント、有義波高、有義周期、入射スペクトル、反射スペクトル、統計解析として最大波高、最大周期、平均波高、平均周期、有義波高、有義周期などを求められる。

4.5.7 その他の計測器

以上の計測機器のほか、風洞実験に必要な計器類として、フォルタン気圧計(気象庁検定付き)、電動式アスマン通風乾湿計(気象庁検定付き)、デジタル温度計、JIS型ピトー管(3mm ϕ ×380mm長および9mm ϕ ×500mm長、各1本)、アローヘッド型5孔ピトー管(特注品、3mm ϕ ×400mm長)、アスカニア型マノメータ(理化精機製、0~200mmAq、精度0.01mm)、アネモマスター風速計(日本カノマックス製、model 6141、風速0.05~50m/s)、普通騒音計(リオン製、NA-20型、検定付き)などを備えている。

流れの可視化装置としてスモークワイヤ発生装置(菅原研究所製)、風速90m/sまで使えるNPL型スモークブロー

ブを持つスモーク発生装置(英国Nutem Limited製)を備えている。

実験中の模型の状態はテレビカメラで常時監視し、計測・準備室にあるテレビでモニターし、ビデオに録画できる。この監視装置は6倍電動ズームレンズを取付けたカラーテレビカメラとリモコンユニットが、移動可能なカメラ取付台(写真29)にセットされており、これらとモニターテレビ、ビデオレコーダーで構成されている。

熱線データなどのモニタリング用として、デジタルストレージオッシロスコープ(日立電子製、型式:VC-6145、4現象、100MHz)、波形解析結果などの図形処理にペンプロッタ(グラフテック製、MP5000)を備えている。

風速は計測洞入口に取付けたJIS型標準ピトー管に差圧式デジタルマノメータ(コスモ計器製、レンジ:0~200mm Aq、精度0.3mmAq)を接続し、デジタル温度計で測った気流温度で密度補正を行い、風速値を計測・制御用パソコン(NEC PC9821As)を経由して制御パソコン(NEC PC9821Ae)上に表示させている。さらに、風速や温度、波形データなどは計測・制御用パソコンに収録される。このために制御パソコンと計測・制御用パソコンとはRS232Cで接続されている。

図14にパソコン制御のフローを示す。

4.6 天井走行クレーン

一般に、大型風洞の開放型と閉鎖型計測洞の切換えには床面に敷いたレール上に設置した台車に、ベルマウスや可動計測洞をそれぞれ載せ、手動または自走で台車を動かして交換できるように計画されている。しかし、本風水洞は床面に水槽が設置されているので、可動計測洞などの交換にレール方式が使用出来ない。それ故、本施設では開放型、閉鎖型風洞や風水洞との切換え作業などを行うために、実験棟内にホイス式天井走行クレーン(日本ホイス製)を



写真29 監視カメラ

設置している。

本クレーンは吊上げ荷重一杯の重量をもつ可動計測洞を安全に脱着できるように、巻上げ速度は5.1m/minの高速、0.6m/minの微速、横行・走行速度は5.5m/minの高速、0.6m/minの微速と各速度を2段階に変えられる方式で、吊上げ荷重2.8tの電気ホイス式である。クレーン操作には一般に用いられているコード操作式を取止めて、操作性の良い無線操作式を用いている。クレーンの揚程は約6.2m、走行はスパン方向8.6m、長手方向22.45mである。

4.7 電気設備

電源は三鷹第2船舶試験水槽(400水槽)の変電室から分岐した大陸棚再現水槽用屋外キュービクル(3^φ-3.3kV)より受電し、そこから電力ケーブルを三鷹第1船舶試験水槽(80m角水槽)西側、南側を迂回して変動風水洞まで埋設電線管の中を通して引いている。

電気室の中には400V動力盤(変圧器3^φ-200kVA-3.3kV/420V)、200V動力盤(変圧器3^φ-50kVA-3.3kV/210V)、100V/200V配電盤(変圧器1^φ-10kVA-3.3kV/210V/105V)があり、将来の容量不足に対しては各盤に増設スペースを持たせている。

力率改善及び高調波対策用として400V動力盤には5次用(50kVA)、7次用(30kVA)、11次用(30kVA)の進相容量を持つ力率改善用コンデンサ及び高調波フィルタを、200V動力盤には15kVAの進相容量を持つ力率改善用コンデンサを入れている。

図15に実験棟内電源のフローを示す。

4.8 LAN

所内LANは計算センターのメインフレームが日本電気製ACOS-S910+SAPからHP製に更新された際に、既設のLANに対してまだLANが引かれていなかった実験棟に対して、LANの増設が予算的に可能となった。変動風水洞のLANはこのLAN増設工事に間に合い、計算センターとの間をLANで結ぶ事が出来た。

本施設内のパソコンはLANで計算センターの主電算機(米国HP製、HP9000-735 4台で構成)や部内のEWS(HP9000-735CRX)などと結ばれ、多量のデータ処理や高度な解析を行える。

5. 基本性能試験結果

基本性能試験は風洞部、水路部に分けて、それぞれ単独で行った。

5.1 風洞部性能試験

風洞部の性能試験は閉鎖型計測洞を基本とし、供試体、トラバース装置のない状態で行った。また、性能試験は一樣流と非定常流で行った結果を示す。

5.1.1 一樣流

(1) 風速範囲

平均風速は計測洞入口から3m下流断面(この断面を基準計測断面と呼ぶ)の中心にJIS型標準ピトー管を取付け、差圧式デジタルマノメータで測定した差圧から求めた。送風

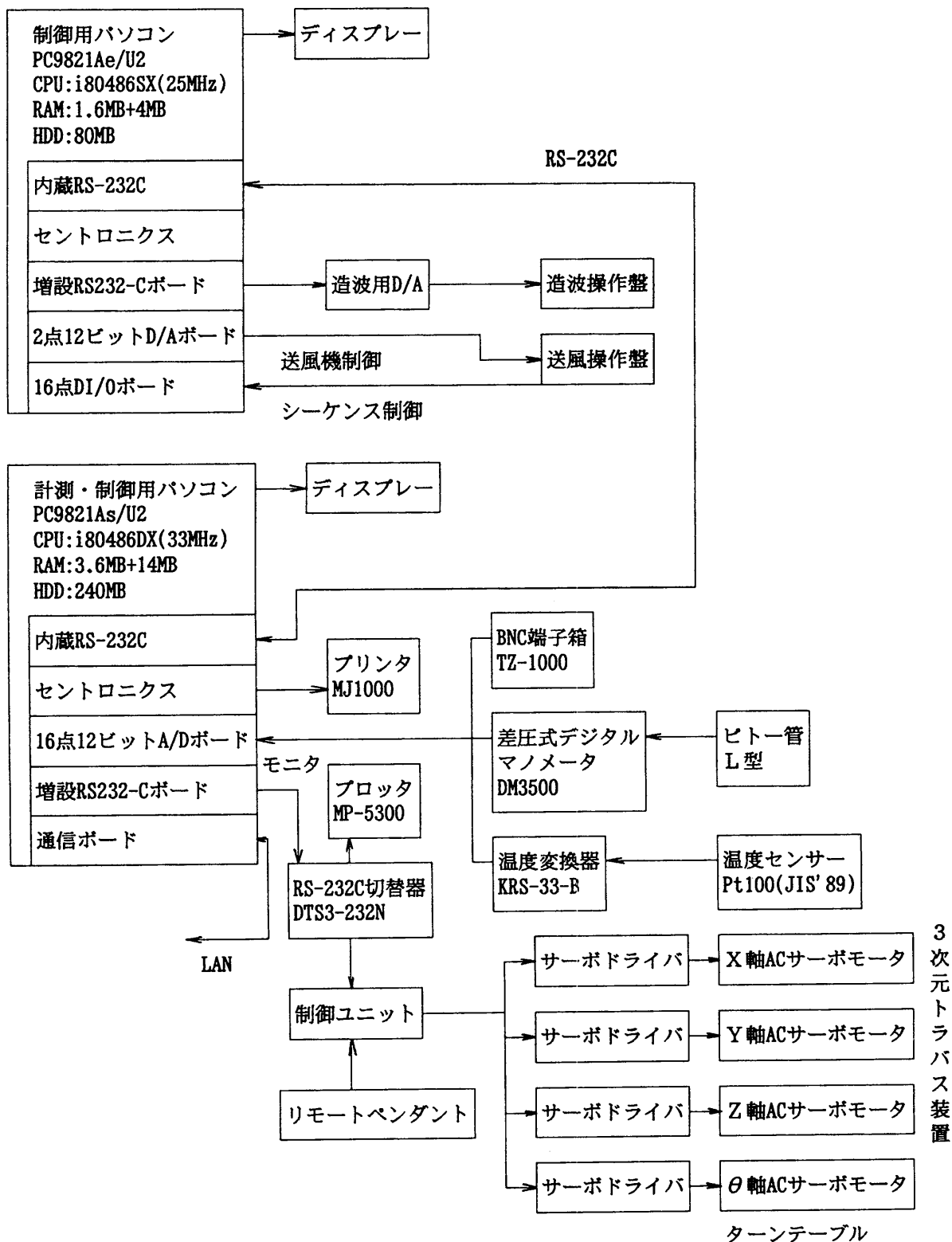


図14 パソコン制御のフロー

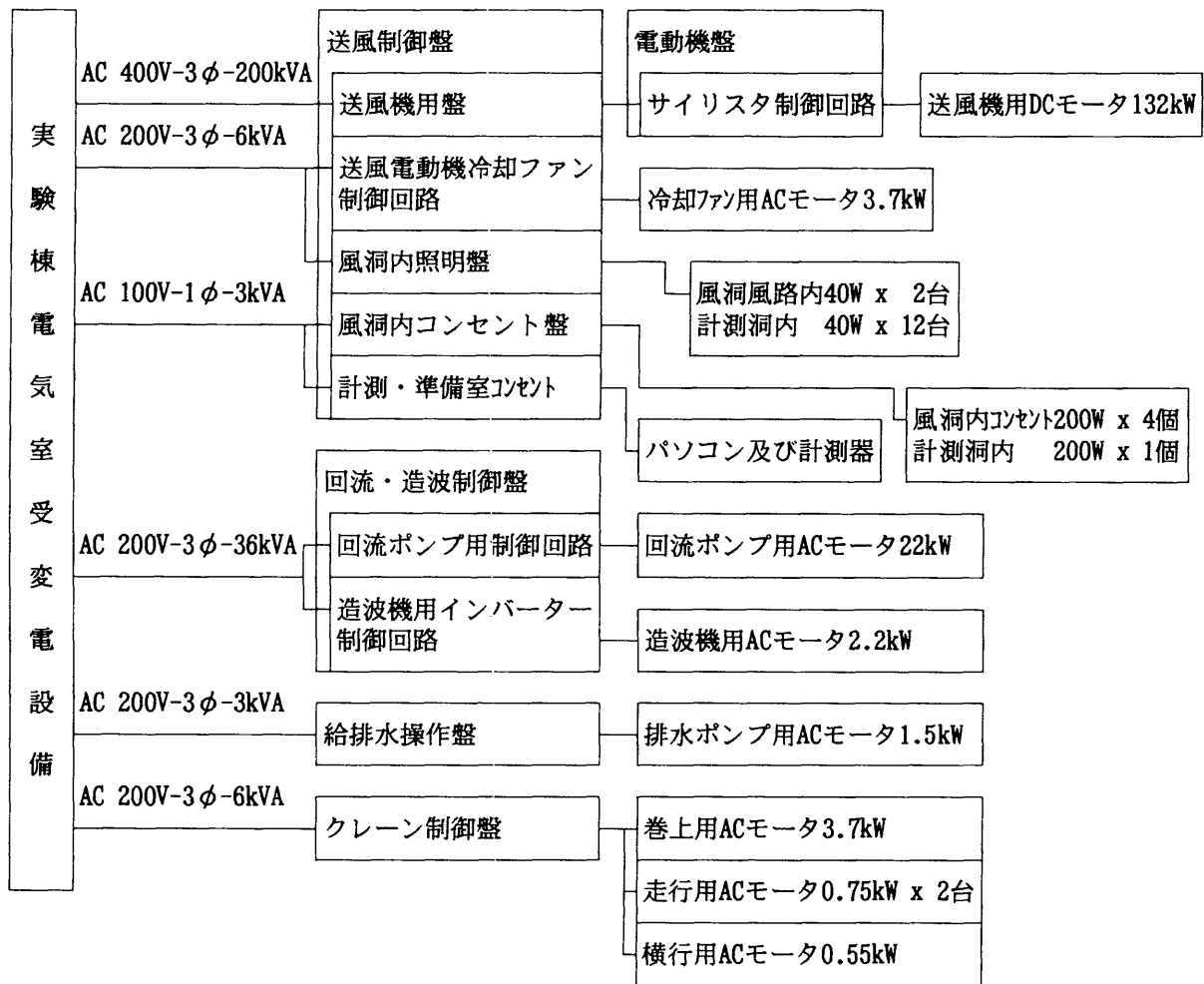


図15 実験棟内電源のフロー

機回転数は50rpm毎に最大回転数約400rpmまで変えて風速の計測を行い、風速と送風機回転数の関係を調べた。

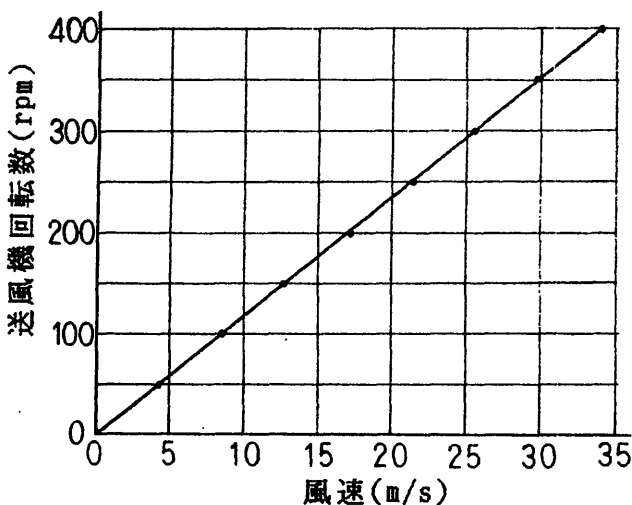


図16 風速と送風機回転数

図16に風速と送風機回転数の関係を示す。

風速と回転数の関係は図に示したようにリニアな関係にある。回転数が398rpmの時に、最大風速は33.9m/sである。ただし、最大風速の計画値は30m/sである。

(2) 回転数変動及び風速変動

回転数変動は平均風速20m/s(この風速を基準風速と呼ぶ)の時に、安定した回転数に達した時点から15s毎に5分間計測を行った。計測の結果、回転数変動は0.1rpm以下である。また、風速変動は0.1m/s以下である。

(3) 静圧勾配

静圧勾配を求めるために基準風速の時、基準計測断面の中心及びその上流、下流の各0.75m離れた風軸上の3点で静圧の計測を行った。

静圧勾配は次式から計算できる。

$$\text{静圧勾配} = (P_s - P_{s0}) / (1/2 \rho u^2) \times 100 (\%)$$

ここで、 P_s は測定静圧、 P_{s0} は基準静圧、 $1/2 \rho u^2$ は基準動圧である。

図17に静圧勾配を示す。

静圧勾配の計測値は下流側で最大値+0.66% (mあたりに

直すと+0.44%/m)である。ただし、静圧勾配の計画値は基準計測断面の中心から上流及び下流へ0.75m離れた風軸上で±0.75%(±0.5%/m)以下である。

(4) 風速分布

基準風速の時、基準計測断面の高さ方向には天井より風洞床までの2,000mmを50mm、50mm、100mm、8×

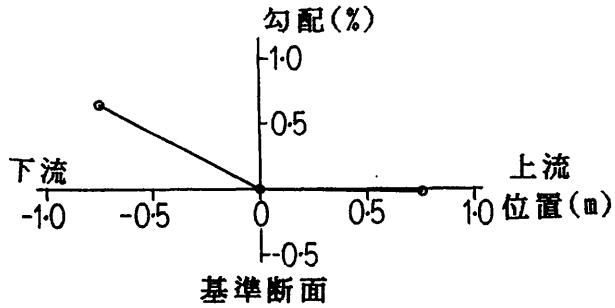


図17 静圧勾配

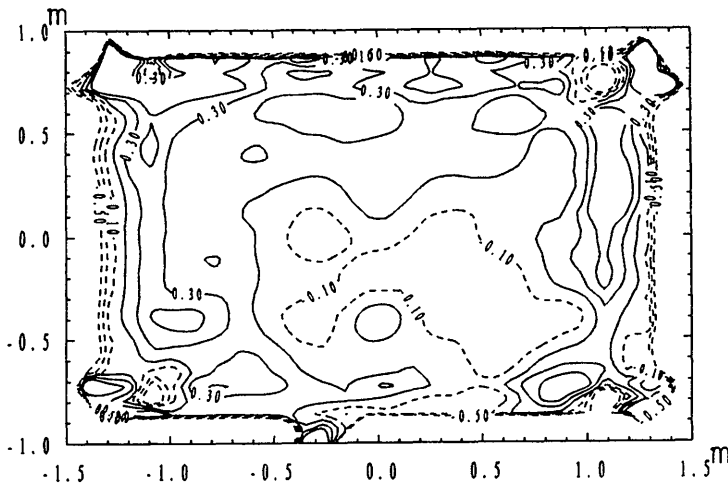


図18 風速分布

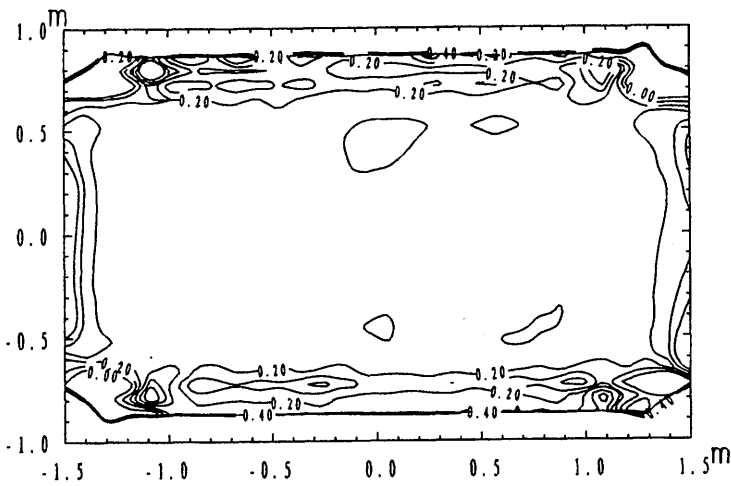


図19 乱れ強さ分布

200mmピッチ、100mm、50mm、50mmの13点に分割し、幅方向には両側壁間の3,012mmを78mm、78mm、150mm、8×300mmピッチ、150mm、78mm、78mmの13点に分割したメッシュ点の計169点に対して、熱線風速計(日本カノマックス製、型式：IHW-100)を用いて風速の計測を行った。図18に基準風速20m/sに対する偏差(%)で表示した風速分布を示す。

図化にはNECのEWS4800シリーズに搭載されたソフト・マイクロリサーチャーを用いている。(7)に示す有効断面内での風速偏差は最大+0.56%である。ただし、風速偏差の計画値は±1.0%以下である。

(5) 乱れ強さ

乱れ強さは(4)の熱線流速計で計測した風速の乱れから直ちに求まる。

図19に乱れ強さをRMS(%)値で表示した結果を示す。

(7)に示す有効断面内での乱れ強さは最大0.34%である。ただし、乱れ強さの計画値は0.5%以下である。

(6) 気流偏向角

気流偏向角は基準風速の時、基準計測断面の中心にアローヘッド型5孔ピトー管を取付て計測した。その結果、気流は高さ方向には0.1°の吹き下ろしであり、かつ水平方向には計測室側に0.8°偏向している。ただし、気流偏向角の計画値は5°以下である。

(7) 有効断面積率

(4)の風速分布測定データから算出した有効断面は高さ方向に壁から87.5mm、幅方向に壁から97.5mmづつ離れた内側に来る長方形から四隅をカットした断面形状である。また、有効断面積率は84.9%であり、かろうじて計画値をクリアできている。ただし、有効断面積率の計画値は84%以上である。

(8) 気流温度上昇

気流温度上昇試験は平均風速15m/sで送風機を起動した後、2時間の連続運転を行い、計測洞内における気流温度を熱電対で計測し、ペンレコーダに記録した。気流温度はペンレコーダのチャート紙から読みとった。当日は、曇天であったので、計測中に外気温の変化はほとんど無かった。

図20に気流温度上昇を示す。

気流温度上昇は約1°C/hである。ただし、気流温度上昇の計画は5°C/h以下である。

(9) 風洞内圧損

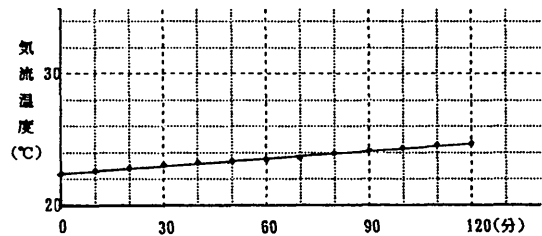


図20 気流温度上昇

風洞内圧損を求めるために平均風速30m/sの時、風洞内に静圧管を挿入して各部の静圧を計測した。風洞各部の圧損は隣接する静圧計測位置間の静圧差より求めた。

図21に風洞内の静圧計測位置と表11に各部の圧損値を示す。

全圧損の測定値は31.5mm Aqである。ただし、全圧損の計画値は40mm Aqである。この結果は風洞内圧損の見積りがほぼ妥当であることを示す。

(10) 気柱振動

開放型計測部を持つ風洞の場合には風速範囲によりしば

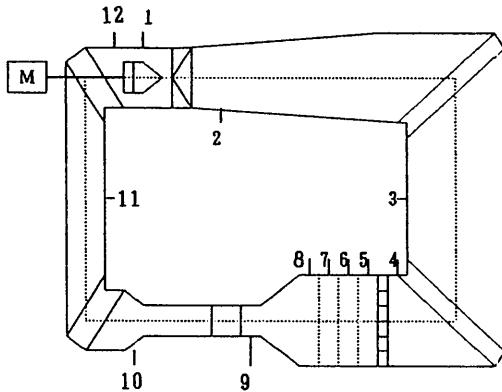


図21 風洞内静圧計測位置

表11 測定位置と風洞内圧損

計測点	圧力損失値 ΔP(mm Aq)
①-②	3.09
②-③	3.96
③-④	0.48
④-⑤	0.05
⑤-⑥	1.27
⑥-⑦	3.19
⑦-⑧	1.65
⑧-⑨	0.55
⑨-⑩	3.60
⑩-⑪	7.50
⑪-⑫	6.11
計	31.45

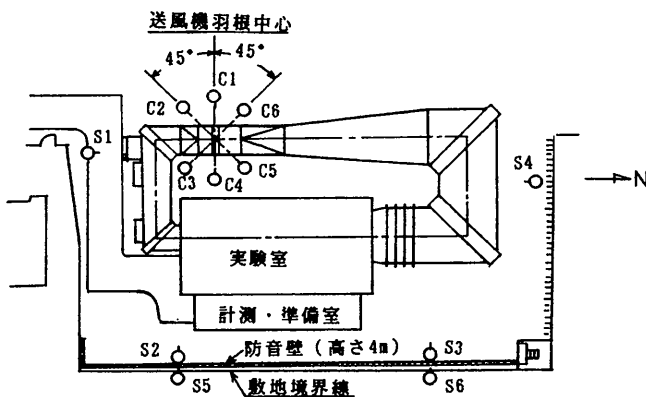


図22 騒音計測位置

しば気柱振動が発生する。このために、計測洞を開放型にして最低風速1m/sから最大風速32m/sまで、送風機回転数を上げて風速範囲の全域において気柱振動が発生しない事を確認した。

5.1.2 騒音計測

閉鎖型計測洞の時かつ、平均風速25m/sの時に送風機まわりの騒音及び敷地境界における騒音を計測した。送風機まわりの騒音は送風機試験法JIS B 8346に基づいて、騒音レベルの計測を行った。騒音計測にはリオン製普通騒音計NA-20型(検定付き)を用いた。

図22に送風機外周りと敷地境界上の騒音レベル計測位置を、表12にそれらの騒音レベルを示す。

送風機回りの騒音レベルの測定値は76dB (A)である。ただし、送風機回りの騒音レベルの計画値は100dB (A)以下である。

本施設は敷地境界に隣接して東大三鷹寮があるが、現在それを取り壊して三鷹国際学生会館が建設中である。また、本施設が建設された場所は第2種住居専用地域であるために騒音規制が割合厳しい環境にある。

これらの事を考慮して敷地境界に防音壁を設置し、かつ低騒音型送風機(泉送風機株)を採用したので、表12に示したように敷地境界における騒音規制値をクリア出来ている。

5.1.3 非定常流

ここでは非定常流の代表として台形波、三角波、正弦波変動風を発生させた。基準計測断面の中心にリニア出力をもつアネモマスター風速計(日本カノマックス製 model 6141)を挿入して風速を計測した。次に、平均風速13m/s、振幅±50%の時、周期20s、25s、40s、50sの正弦変動風を発生させた。

制御パソコンのCRT上に表示した回転数制御命令、目標風速、計測した風速波形結果をプリンタに出力したものの内、図23-aには周期25sの場合を示す。上図は予測式から発生させた風速を、下図はこの風速に対して3回の修正を施して発生させた正弦変動風の風速結果を示す。中図は予

表12 測定位置と騒音レベル

測定位置	騒音レベル dB(A)	
	距離	測定値
C1	1m	76
C2	1m	代表値
C3	1m	51dB
C4	1m	(S2点) 74
C5	1m	73
C6	1m	75
S1	—	56
S2	—	57
S3	—	51
S4	—	56
S5	—	51
S6	—	—

測式から発生させた風速波形を修正するために誤差解析(誤差平均、自乗平均、最大誤差を示す)した結果を示す。同じ平均風速、振幅の正弦変動風で、周期20s、40s、50sの場合をそれぞれ図23-b、c、dに示す。

平均風速20m/s、振幅±50%の正弦変動風で、周期25sの場合を図23-eに示す。この正弦変動風は高風速域で本送風機系の能力を超えており、風速波形が変形して目標風速波形を出せないことを示している。

平均風速7m/s、振幅±50%の正弦変動風で、周期50sの場合を図23-fに、5m/s、25sの場合を図23-gに、3m/s、25sの場合を図23-hに示す。

総合すると、平均風速5m/s以上、15m/s以下ではきれいな正弦変動風を発生できる。しかし、3m/sの時は正弦変動風発生に対する送風機制御の限界に達しているようであり、きれいな正弦変動風を発生できない。特に、低風速域では回転数指令に鋭敏であり、回転数制御の精度問題も

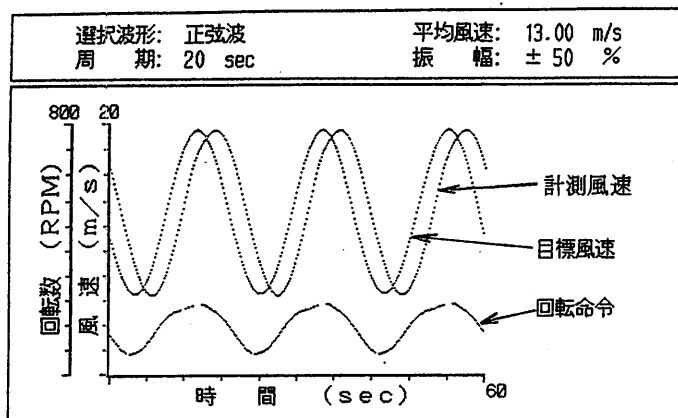
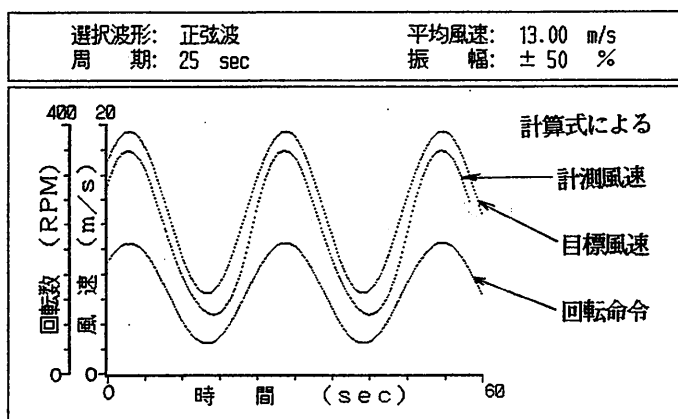


図23-b 発生させた正弦変動風の例(13m/s, 20s)

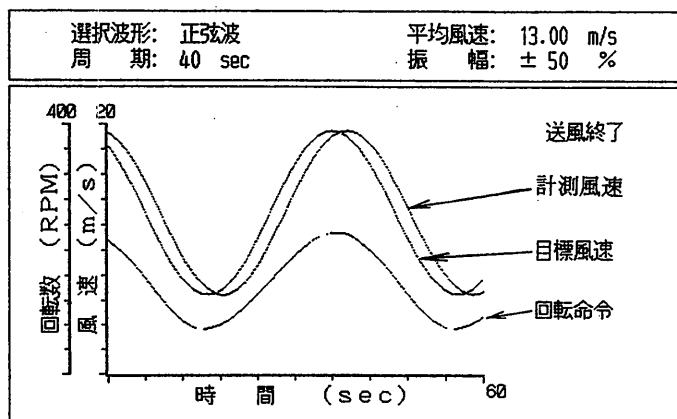
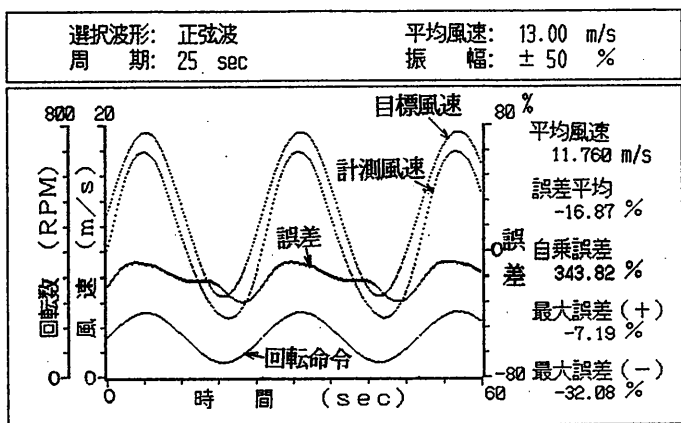


図23-c 発生させた正弦変動風の例(13m/s, 40s)

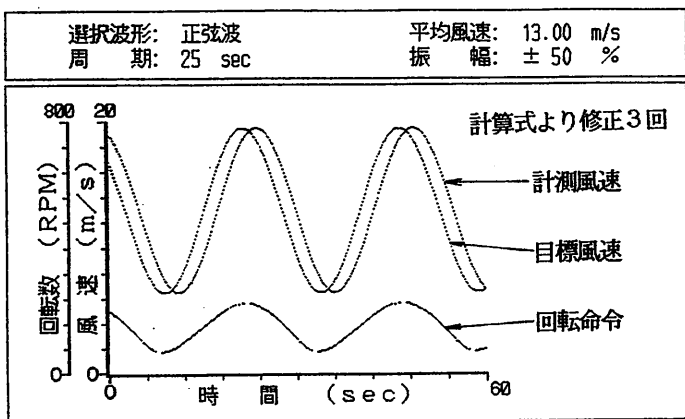


図23-a 発生させた正弦変動風の例(13m/s, 25s)

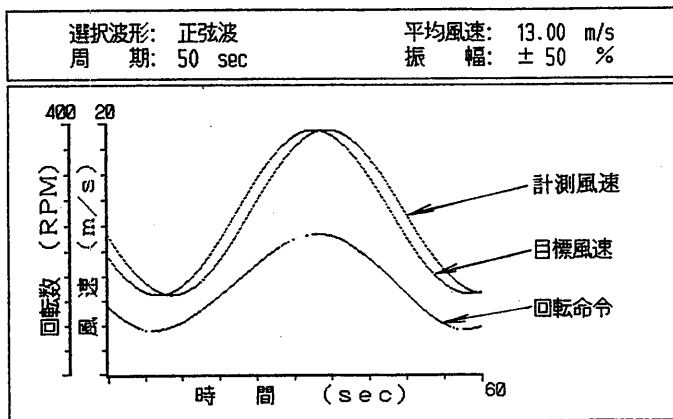


図23-d 発生させた正弦変動風の例(13m/s, 50s)

あってかなり難しい。

平均風速13m/s、振幅±50%の時、周期30s、50sの三角波変動風を発生させた場合をそれぞれ図23-i、jに、平均風速、振幅が同じで周期30s、50sの台形波変動風を図23-k、lに示す。図23-iの上図は計測した風速、下図は誤差解析した図を示す。これらの結果は風速が急激に変化する角部では本送風機系の慣性モーメントが大きいので回転数制御が

追従できず、風速が鈍り少し丸味を帯びているが、ほぼ満足できる三角波変動風及び台形波変動風を発生できることを示している。

平均風速13m/s、振幅±50%の変動風の時に、周期19sより短い周期では風速の急変する角部で送風機・電動機系のカップリングに異常音が発生するので、それらの変動風を発生させることは適当でないと考え、安全上から周期25s

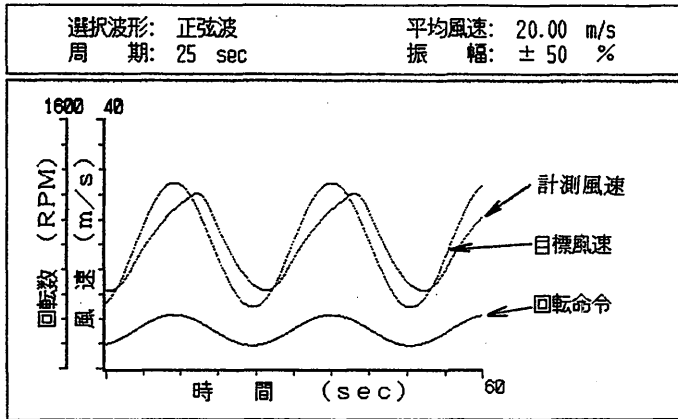


図23-e 発生させた正弦変動風の例 (20m/s, 25s)

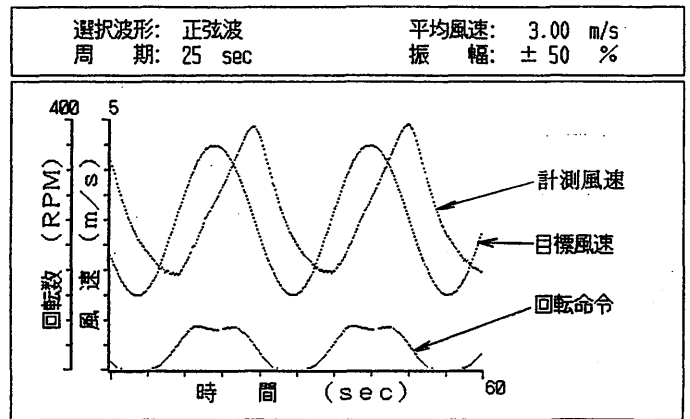


図23-h 発生させた正弦変動風の例 (3m/s, 25s)

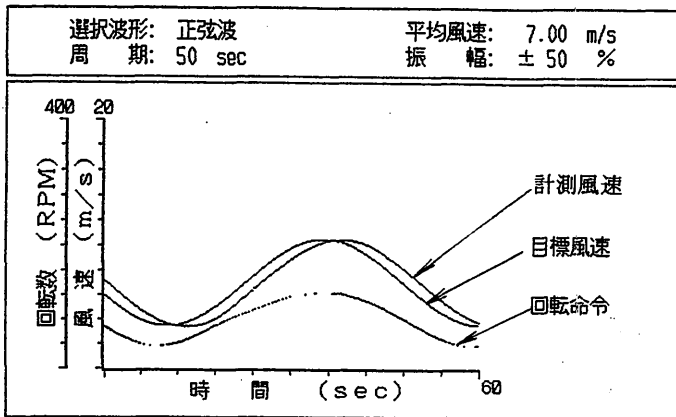


図23-f 発生させた正弦変動風の例 (7m/s, 50s)

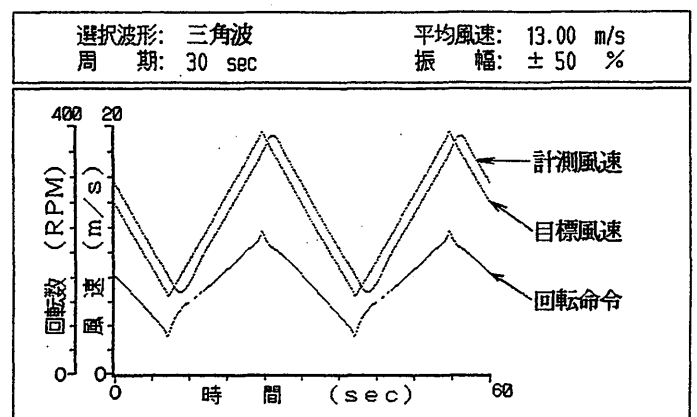


図23-g 発生させた正弦変動風の例 (5m/s, 25s)

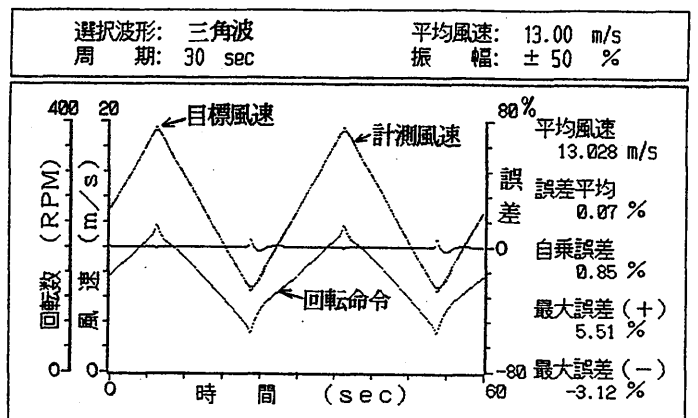


図23-i 発生させた三角波変動風の例 (13m/s, 30s)

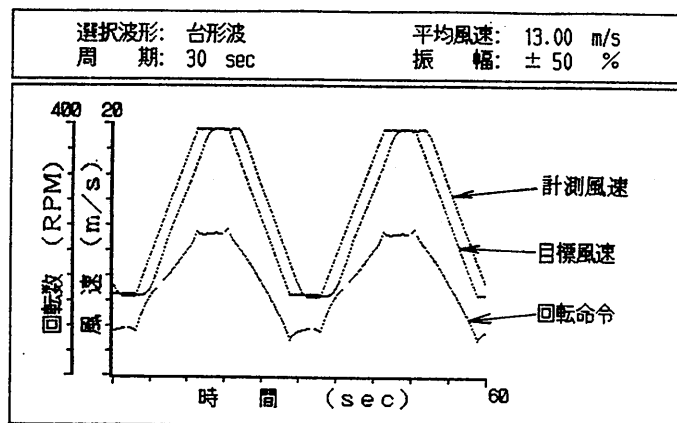
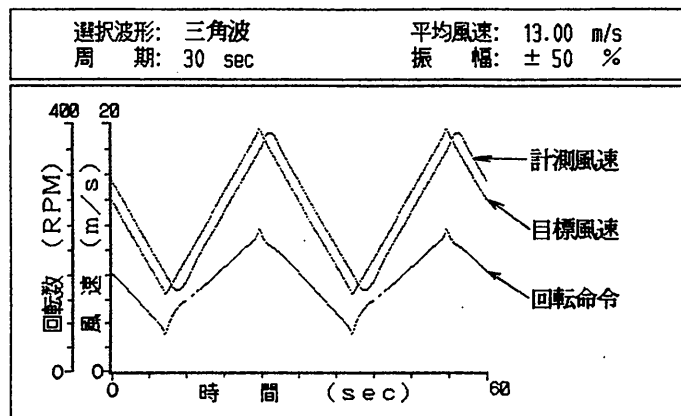


図23-k 発生させた台形波変動風の例(13m/s, 30s)

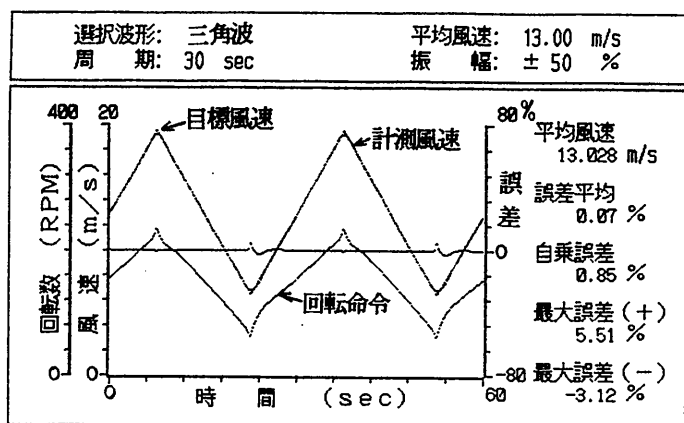


図23-j 発生させた三角波変動風の例(13m/s, 50s)

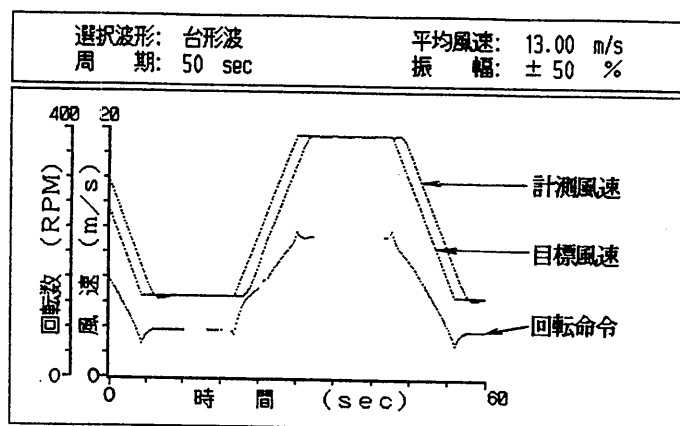


図23-l 発生させた台形波変動風の例(13m/s, 50s)

より早い周期の変動風を発生できないように電氣的にロックを掛けている。

送風機駆動電動機の回転数を制御する本変動風発生法は周期の短い変動風を発生できないが、大振幅できれいな波形の正弦変動風などの発生に適しているので、送風機・電動機系を多分割して慣性モーメントの小さな送風機・電動機系を用い、かつ周期の短い変動風を発生できる翼列ダンパー制御方式などと組み合わせるなら、空間的に自然風のスペクトルに近いスペクトルを持つ風を風洞内に再現できるものと考えられる。このために今後、本変動風発生法は大型風洞での変動風発生法の1つとして、注目されるべきものになると思われる。

5.2 水路部性能試験

水路部性能試験は造波装置、回流装置に分けて実施した結果を示す。

5.2.1 造波装置

表13に本造波装置で発生できる波高と入力信号値を示す。

(1) 規則波

造波装置に種々の電圧及び周期の規則波信号を加えて造波を行った。発生した波を容量式波高計で計測し、ペンレ

コーダに記録した。

図24に発生させた規則波の3例を示す。上図は指令信号の入力電圧0.5V、周期2.5sの場合で波高は4.4cm、中図は1.5V、4.0sの場合で波高は7.6cmである。下図は1.7V、1.5sの場合で波高は30.5cmの波を発生できることを示す。

これより本造波装置は波高30cmまでの波を発生できることが分かる。

造波中の様子を写真30に示す。

(2) 不規則波

不規則波の発生は4.4.2(2)によった。目標スペクトルとして今回はブレットシュナイダー・光易型スペクトルを用いた。波の計測は(1)と同一であり、4.5.6項で述べた波形解析ソフトを用いて解析した。

図25にブレットシュナイダー・光易型スペクトルに近づくために計算式から2回の修正を施して発生させた2次元不規則波スペクトルの1例を示す。上図は計算式で発生させた場合、中図は修正を1回施した場合、下図は修正を2回施した場合である。

計測したスペクトルは修正を施すことにより次第に目標スペクトルに近づいていくことが分かる。

5.2.2 回流装置

本回流装置で発生できる最大流速を求めるために、ポンプ吐出側の仕切弁を全開にしてポンプを最大流量状態にして実験を行った。流速の計測は超音波式流速計のプロープを水槽内の規定の水深に挿入し、その出力をペンレコーダに記録した。流速はペンレコーダ記録紙から変動する流速

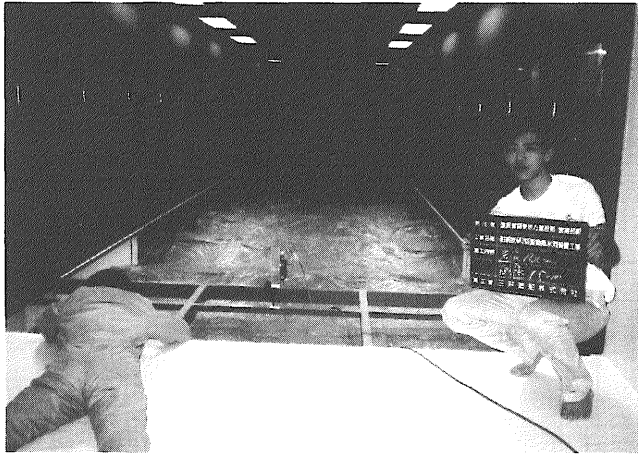


写真30 造波中の様子



写真31 浮体式海洋構造物ポセイドン号模型の風波予備実験

値の中央値を読み取った。

図26に計測位置、表14に最大流量時における各計測位置での流速結果を示す。

本回流装置は計画の最大流速0.3m/sを確保できたが、前にも述べた様に簡易型回流装置を採用したために、流れは数多くの小さな渦を伴う不均一な流れとなり、そのために時間的に不規則に変動した流れ場となっている。この事は簡易型回流装置を採用した時点で予測された事である。また、流れに含まれる小さな空気泡やゴミの動きから表面付近に集中して流した水流の下に大きな再循環流が出来ている事が観察されている。

最後に、写真31に浮体式海洋構造物ポセイドン号の1/25模型による風波の予備実験の様態を示す。

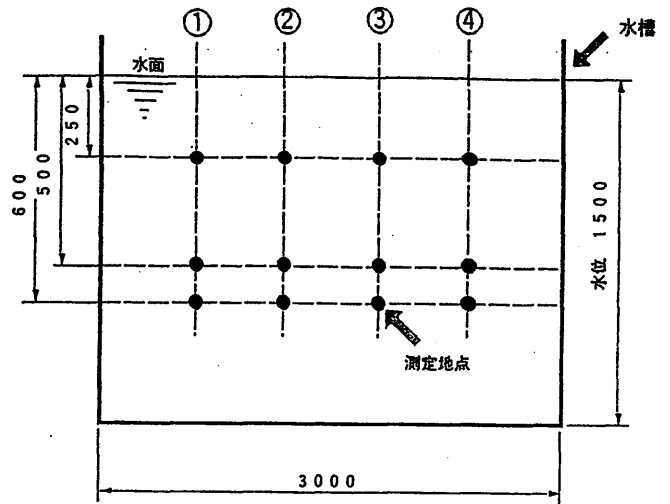


図26 回流装置の流速計測位置

表14 計測位置と流速

水深	250 mm	500 mm	600 mm
流速①	32.9 cm/s	34.5 cm/s	26.7 cm/s
流速②	40.0 cm/s	34.5 cm/s	26.7 cm/s
流速③	37.3 cm/s	35.5 cm/s	29.8 cm/s
流速④	40.0 cm/s	34.5 cm/s	21.3 cm/s

表13 入力信号と発生波高

造波機性能	波 高						
	水深：1500mm						
入力電圧	周 期						
	0.05s	1.00s	1.50s	2.00s	2.50s	3.00s	4.00s
0.3V	56mm						
0.5V	碎波	118mm	87mm	62mm	43mm	37mm	30mm
1.0V	※	168mm	168mm	118mm	78mm	66mm	50mm
1.5V		※	200mm	177mm	118mm	97mm	75mm
1.7V			306mm				
2.0V			※	※	168mm	137mm	100mm
2.5V					※	※	128mm
3.0V							※

※は造波可能な事を示す。

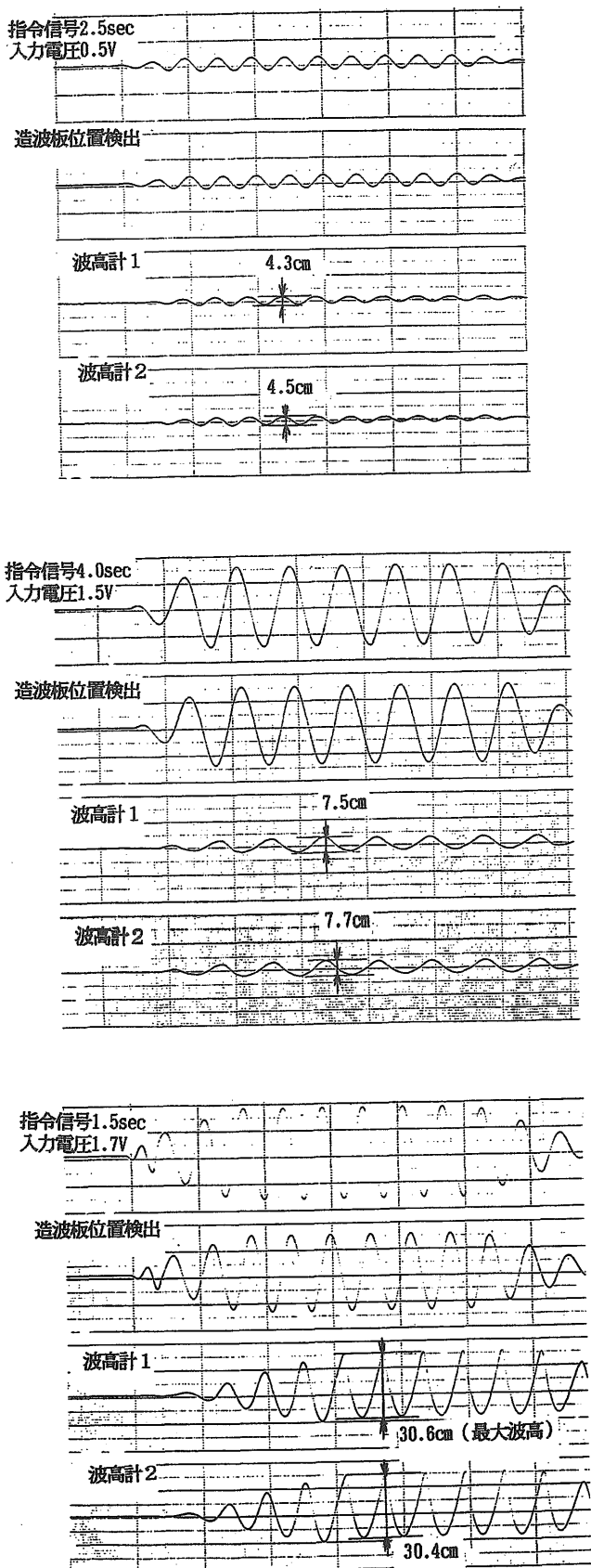


図24 発生させた2次元規則波の例

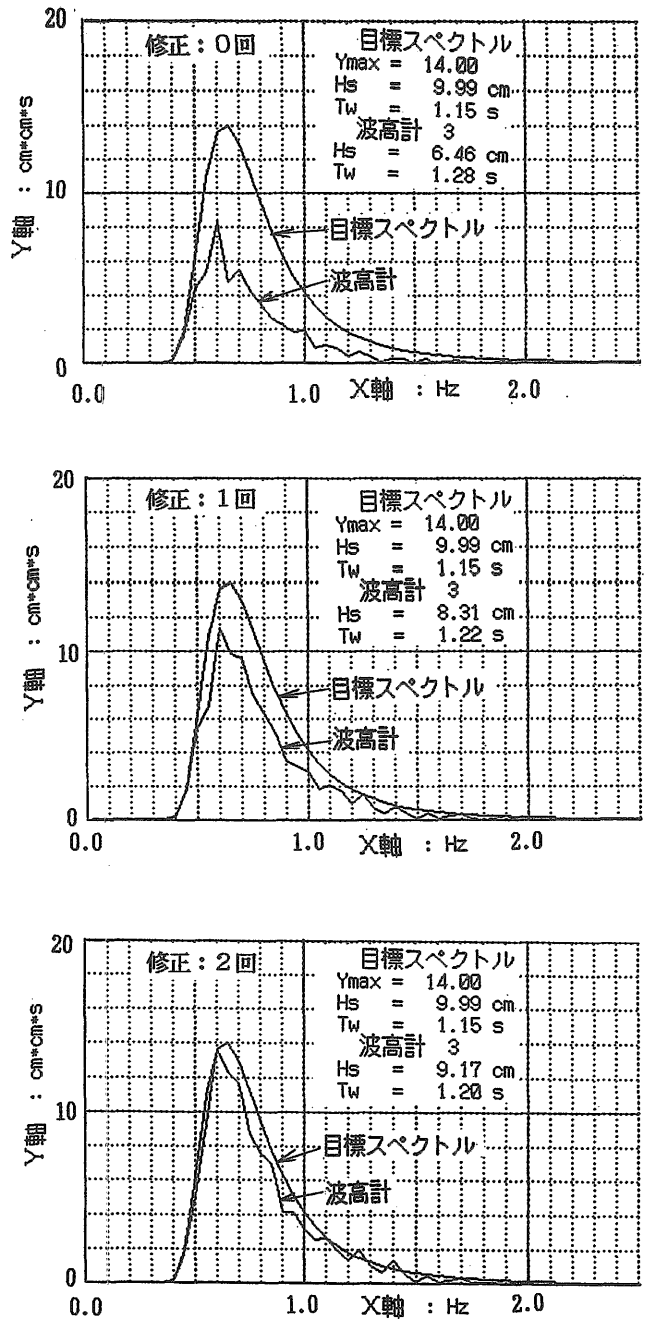


図25 2次元不規則波のスペクトルの例

6. おわりに

新設された変動風水洞の特徴などの紹介と基本性能試験結果について述べた。

現在、風洞部のより詳しい性能、風や波、流れの複合した変動風水洞としての総合性能が調べられている。これと平行して、超大型浮体式海洋構造物(海上空港)や海洋構造物の要素に働く風荷重を評価する実験、海面効果翼船などの模型実験や風工学に関する基礎実験が行われている。

謝辞

本施設の建設に当たってお世話になった当研究所及び変動風水洞建設連絡会の各位並びに建設省関東地方建設局本局及び甲武営繕工事事務所の各位に厚く謝意を表す。

また、本施設の企画をし、その建設途上の平成2年12月に逝去された故安藤定雄(前)海洋開発工学部長のご冥福を祈ります。

付記

変動風水洞の建設には装置工事関係を三井造船(株)が、風路のRC部や実験棟の建設関係を辻建設(株)が担当したことを付記する。

参考文献

- 1) パンフレット：The Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, University of Western Ontario
- 2) 光易恒、丸林賢次、石橋道芳、草場忠夫、増田章：海洋環境シミュレーション水槽について—海洋環境の計測とシミュレーションに関する開発研究(第4報)—、九州大学応用力学研究所所報、第64号(1987)、pp.31-47
パンフレット：海洋環境シミュレーション水槽、九州大学応用力学研究所(1986)
- 3) 試験風洞建設委員会：平塚研究所の試験風洞について、住友重機械技報、Vol.34、No.100(1986)
パンフレット：住友重機平塚研究所試験風洞
- 4) 重見孝、広岡寛一：航空宇宙技術研究所大型低速風洞について、日本航空宇宙学会誌、第15巻、第167号(1967)、pp.408-417
- 5) 末広健一、北村清美、村上義隆、進藤重美：航空宇宙技術研究所突風風洞の計画と整備試験、航空宇宙技術研究所報告、TR-335(1973)
- 6) 建設実行委員会：応用力学研究所台風災害実験用風洞装置について、九州大学応用力学研究所所報、第36号(1972)、pp.71-90
- 7) 昭島研究所構造物用風洞について、三井造船技報、第107号(1980)、pp.63-78
- 8) 本州四国連絡橋公団編：本州四国連絡橋風洞試験基準(1973)
- 9) 3次元熱線流速計システム取扱説明書、日本カノマ

ックス(株)

- 10) HyScan 1000 取扱説明書、Scanivalve Co.
- 11) 藤田敏美、岩崎昭人、伊藤婦美子、藤枝郭俊：電子式走査多点圧力センサー(EPS)を用いた突風風洞圧力計測システム、航空宇宙技術研究所資料、TM-638(1991)