

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グ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グン型2基の計3基の風洞がある。

(1) ゲッチングン型風洞(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グ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⁾はゲッチング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9.3m⁴⁾、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⁾はゲッチング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3.52m⁴⁾、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⁾はゲッチング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3.9m⁴⁾、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⁾はゲッチング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3.5m⁴⁾、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⁾はゲッチング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3.0m⁴⁾、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