

## 風洞実験設備の紹介

細見 雅生<sup>1)</sup> 木場 和義<sup>2)</sup>

1989年10月、駒井鉄工(株)大阪工場にエッフェル型の風洞が完成した。風洞の全長は約35m、測定部の長さは20mあり、2次元模型実験の他に、今後の風洞実験や研究の動向として重要視されている自然風のシミュレーションおよび3次元模型実験が行えるなど境界層乱流を用いた実験に対応可能な風洞である。本文ではこの風洞および設備についての概要を紹介する。

### まえがき

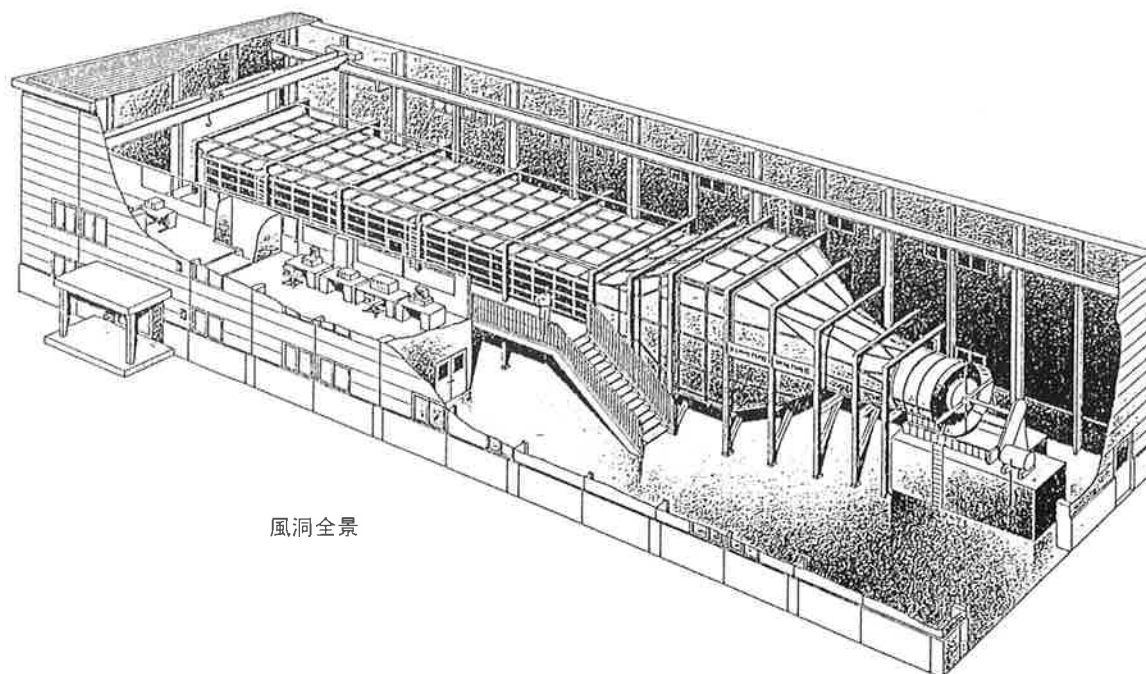
近年、大型橋梁や高層ビルなどの大型構造物の建設がさかんに行われている。これらの構造物は可撓性に富み長周期で振動し易いため、耐風性、特に動的耐風性に対する検討が必要となることが多い。現在、耐風性に関する研究は活発に行われているが、風の問題は解析的な取扱いが極めて困難であることから風洞実験の役割が重要なものとなっている。

当社において、風洞実験による構造物の耐風性の検討の重要性に鑑み、風洞実験設備の建設を計画し、1989年10月に完成した。ここに風洞実験設備の概要を紹介する。現在は、性能試験および検証試験を実施中であるがこれまでに得られた風洞性能についても一部紹介する。

### 1. 基本計画

従来から橋梁や塔の耐風性に関する試験は一様流中における2次元模型を用いて行われるのが一般的であった。しかし実構造物に作用する気流は時間的、空間的に不規則に変動している。すなわち実構造物においては乱流が作用しているので、これを考慮した実験を実施することが合理的である。最近の研究ではこの乱流により構造物の動的応答に次のような影響が生じることが知られている。

- 1) 気流の乱れは渦励振やフラッターなどの振動を抑制する傾向にある。また構造物の断面形状によっては渦励振の振幅を増幅させることも認められる。



風洞全景

1) 大阪橋梁技術部 設計三課副課長 2) 大阪橋梁技術部 設計三課

2) 一様流中で認められなかったバフエッティングが発生する。

また2次元模型にモデル化出来るのは、断面形状が長軸方向に一様な線状構造物であるが、これをそのまま適用できる構造物は多くはない。一般的には3次元の形状であるので、構造物の風に対する挙動を的確にとらえるためには3次元模型による試験を実施することが重要であるといえる。

以上のことから、風洞の具備すべき条件として

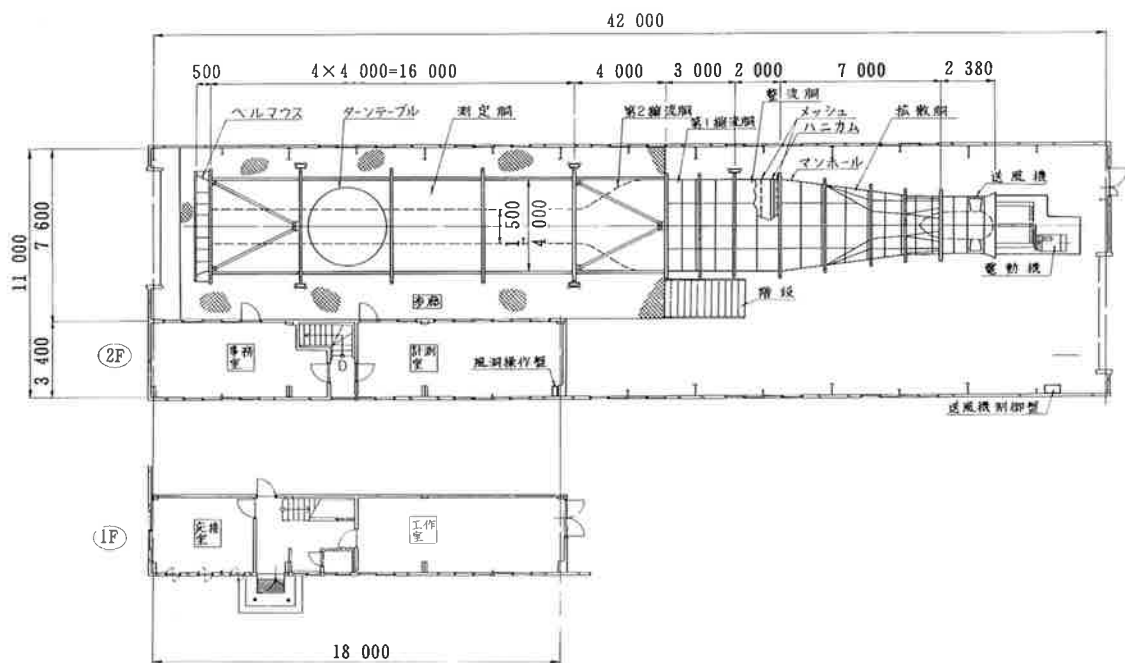
- 1) 自然風がシミュレートできること。
- 2) 3次元の試験が可能なこと。

が重要であると考えた。すなわち境界層乱流を用いた3次元模型試験ができる風洞を建設することを目標とした。そのため

- 1) 自然風に相似な乱流は乱流発生装置から十分離れた点で得られることから、測定部の長さが十分長いこと。

表-1 風洞要目

形 式		開回路式風洞 (エッフェル型風洞)	
測定部	長  さ	16m	
	断  面	幅  高さ	幅  高さ
		1.5m × 2.0m	4.0m × 2.0m
風 速 範 囲	1.0~26.0m/s	0.4~10.0m/s	
送風機	形 式	軸流単段送風機	
	口  径	2500mm	
	風 量	80 m³/s (770rpm)	
電 動 機	全  圧	80mmAq (770rpm)	
	形 式	直流電動機	
	出  力	110kw	
機	電  圧	440V	
	回  転  数	0~1540rpm	
制 御 方 式		サイリスタ・レオナード方式	



整流部断面  $S=1/60$

測定部断面(4.0m×2.0m)  $S=1/60$

測定部断面(1.5m×2.0m)  $S=1/60$

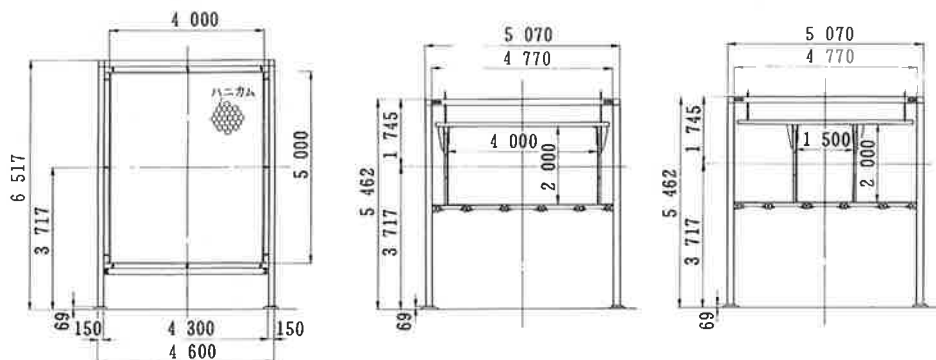


図-1 風洞全体図

2) 相似性の点から、十分大きな縮尺の3次元模型が用いられること。

を考慮して、測定部長20m、幅4m、高さ2m、風速0~10m/sの規模の風洞とした。

この測定部断面では、たとえばスパン400~600mの橋梁の1/100~1/150の模型を用いることができる。

また、2次元性に富む構造物の場合、種々の面から試験の容易な2次元模型実験をするために、縮流部を追加設置することにより、風速0~25m/sの風路の設定も可能な構造を計画した。

## 2. 風洞設備

### (1) 概要

本風洞は構造物の耐風性検討のための風洞実験を目的とした低速風洞である。この風洞では測定部全長を20mとし、特に今後の研究課題として重視されている境界層乱流を用いた3次元模型実験が行える構造となっている。そして縮流部を追加することにより2次元模型実験に適した測定部を構成できるようにしてある。風洞の要目を表-1に示す。

### (2) 建屋

建屋は長さ42m、幅11m、面積約460㎡の大きさを有し、その中に風洞本体の全体を設置している他に、計測室、工作室などを設けている。計測室を2階に設け、風洞測定部の床面と高さを一致させ、その

間に歩廊を設け測定部へのアプローチが容易に行えるよう配慮した。

### (3) 風洞本体

本風洞の主な特徴を下記に示す。

- ・形式は開口路式(エッフェル型)である。全長は約35m、測定部長は20mである。
- ・送風機は口径2.5mの軸流単段送風機を用い、電動機はサイリスタ・レオナード制御方式による直流電動機を用いている。送風機と電動機との連結にはベルト掛けによる駆動方式を使用している。
- ・拡散胴と縮流胴の間に位置する整流胴にはアルミ製のハニカムと2枚のスクリーン(20メッシュのステンレス製金網)を設けて整流を行っている。
- ・測定部の断面形状は側壁を取替えることにより2種類の設定が可能となっている。幅4.0mの場合は3次元実験用、幅1.5mの場合は2次元実験用として使用することを目的とするものである。
- ・天井の高さは、静圧勾配の影響を配慮し-0.1m~+0.4mの範囲で移動可能な構造としている。
- ・測定部は乱流発生装置、治具、模型などの設置が行い易いように合板を使用している。吹出し口から14mの位置に直径3.5mのターンテーブルを備えている。
- ・風速は送風機の回転数により制御し、その制御範囲は3次元風洞として使用する場合、0.4~10.0m/sである。

風洞全景および送風機部を写真-1,2に示す。

### (4) 計測装置

各種風洞試験を精度良く実施するために、以下の装置を準備している。

#### 1) 風速計

平均風速を測定するために、風速および微差圧を精度良く計測できるピトー管式風速計を用いている。これは、ピトー管からの差圧(動圧)を微差圧計で検出し、アンプの計算回路で風速に変換して出力するものである。分解能は、風速に関しては1/10m/s、差圧に関しては1/100Aqと十分に高い。また、変動風速を計測す



写真-1 風洞全景



写真-2 ファンおよびモータ

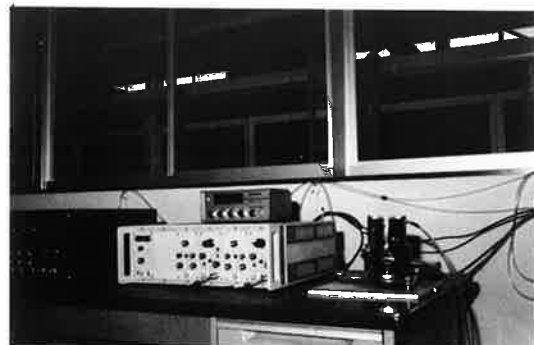


写真-3 ピトー管式風速計と熱線風速計

のために熱線風速計を2チャンネル設置している。(写真-3参照) さらに任意の場所の風速、温度、差圧を計測できる簡易型風速計1台も設置している。

2) 2次元模型支持装置

本装置は、2次元風洞の側壁外側に設置し、橋梁などの2次元模型を支持する装置である。本装置は、模型の気流中での振動応答を調べる動的応答試験と、模型に作用する静的空気力を計測する3分力試験の両方に使用できる。計測室からの操作によって模型の迎角を $\pm 170^\circ$ の範囲で任意の角度に設定できる。また乱流実験にも対応できるように装置の一部を縮流側に移動可能になっている。

装置は、支持枠、ACサーボモータ、制御ユニットおよび8ビットパソコンで構成されており、角度設定精度 $\pm 0.2^\circ$ 以内、連続回転範囲 $\pm 170^\circ$ で、模型の迎角を設定できる。

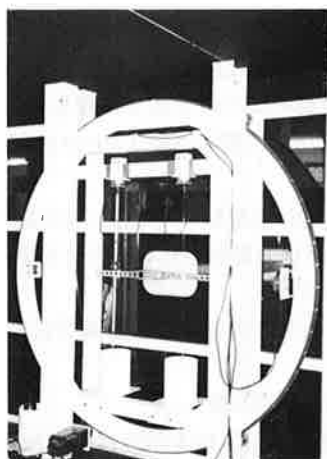


写真-4  
2次元模型支持装置  
と3分力測定装置

3) 変位計、加速度計

模型の変位を計測する変位計は、レーザービームを使用した非接触型変位計を用いている。計測可能範囲は $\pm 30\text{mm}$ で、分解能は $50\ \mu\text{m}$ である。振動加速度は、小型のひずみゲージ式加速度計を用いて計測している。変位計、加速度計の出力は加減算器によって上下成分と回転成分に分解することが可能である。

これらの機器はコイルバネと共に2次元模型支持装置に組入れ、2次元模型の動的応答を計測するのに用いる。

4) 電磁ダンパ

電磁ダンパは、電圧の調整によって振動系に任意の固有減衰を付加することが可能である。これらは、曲げとねじれの2自由度に対応できるように4台準備している。

5) 3分力計測装置

容量 $5\text{kgf}$ のひずみゲージ式荷重計6台を、模型両側の支持枠に配置し、付加ウエイト、オイルダンパーと組み合わせて模型にかかる空気力を計測する。(写真-4参照)

各荷重計の出力は、加減算器によって、抗力、揚力、回転力に合成、分解する。

(5) データ処理

本装置は、多チャンネルの大量データの収集、解析、保存を目的として16ビットパソコンを中心とした構成になっている。図-2に本装置の構成を示す。

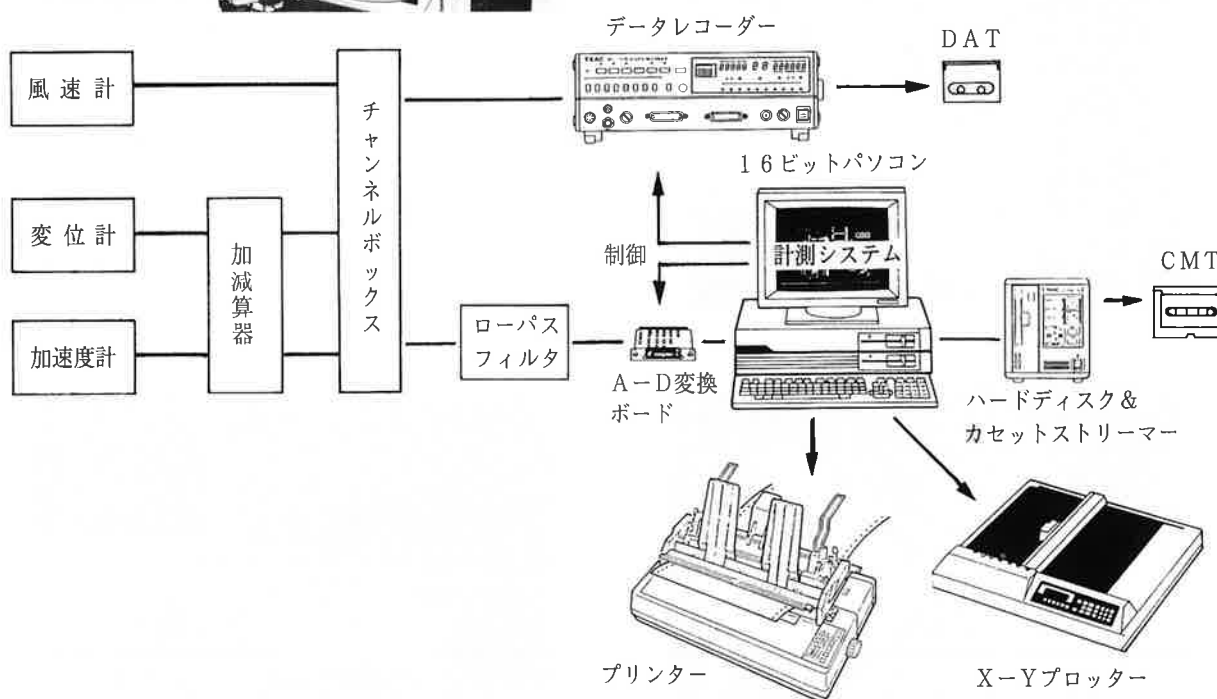


図-2 データ処理装置の構成

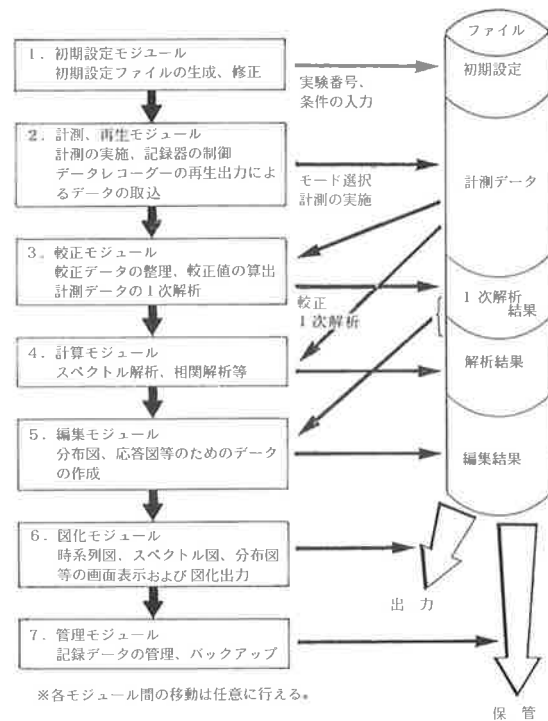
各計測器の出力はパソコン（デジタルデータ）とデータレコーダー（アナログデータ）に同時に取り込まれる。データレコーダーに取り込まれたアナログデータを再生してパソコンに取り込むことも可能である。（写真－5参照）

(6) 計測システム

本システムは、風洞試験の実施からデータの整理、解析までを円滑に行うことを目的としたシステムである。図－3に示すように、7つのモジュールより構成され、計測から校正、解析、図化までを対話形式で制御実施できる。（写真－6参照）



写真－5 データ処理装置



図－3 計測システム構成



写真－6 計測システム画面

風洞試験要領に定められた±1%以内を満足するものであった。

(2) 乱れ強さ

風洞測定部入口より0.5m下流の断面中心点における気流の乱れ強さを調べた。風速2m/sから26m/sまでの範囲で乱れの強さは0.6%以内であり、風洞試験要領に定められた1%以内を十分に満足している。風速0.9m/sにおいても、乱れ強さ0.8%以内であり、風洞試験要領の条件を満足している。

(3) 静圧勾配

2次元風洞測定洞の断面中心線上における静圧および動圧を測定した。測定結果によると、測定洞入口から1.1m下流断面より14.6m下流断面の区間における静圧勾配は、風速15m/sのとき0.8%/m以内、風速10m/sのとき0.9%/m以内であった。この結果は風洞試験要領に定められた基準値5%/m以内を十分に満足するものである。模型設置時あるいは境界層乱流中の静圧勾配については、天井を上下することにより調整可能である。

3. 気流特性

風洞設備の完成後、本州四国連絡橋風洞試験要領<sup>1)</sup>（以下、風洞試験要領と略す）に定められた風洞の具備すべき特性を確認するために、気流特性確認試験を2次元風洞において実施した。以下にその結果の概略を述べる。

(1) 風速分布

風洞測定部入口より0.5m下流断面と10m下流断面の2断面において、風速を数段階設定して計測を実施した。壁面境界層を除いた断面平均風速に対する断面内の風速の偏差は、いずれの場合も良好であり、

## あ と が き

構造物の耐風性検討に対する要望が最近特に増加している。その中で風洞実験の果す役割は非常に大きい。これらの要望に応えるべく今回風洞の建設を計画実施した。構造物の耐風性の研究はタコマ橋の落橋以来各研究機関で活発に行われている。研究も基礎的な段階から乱流効果や3次元効果などの高度なものになってきている。当社としてはまだ経験が浅く、設備においても不十分な点が多い。種々の面でご指導をいただければ幸いである。

本文では主に風洞の概要と2次元風洞の特性について紹介した。現在3次元風洞についての性能試験を実施中である。また今後本風洞の総合的な性能を確認するための基本断面模型を用いた静的、動的試験を実施する予定である。

最後に、本風洞の建設にあたり終始懇切なご助言、ご指導をいただいた立命館大学、小林教授に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 本州四国連絡橋公団：風洞試験要領（1980）・同解説