資 料

住都公団境界層風洞の基本性能

Basic performance of the boundary layer wind tunnel belonging to
Housing and Urban Development Corp.

上江洲 清*¹

Kiyoshi UESU

SUMMARY

A closed-circuit type boundary layer wind tunnel has been constructed at Hachiohji Laboratory, Housing and Urban Development Corp.. It is the multipurpose wind tunnel which can be used for many researches on wind engineering. The working section of the wind tunnel is 2.1m in height, 2.8m in width and 17.5m in length. The range of wind speed is from 0.5 to 30.0m/s and the uniformity of mean wind speed and the turbulence intensity in the working section are within $\pm 1.0\%$, 0.3% respectively. The characteristics of the boundary layer flow made by spires and roughness blocks in the wind tunnel are also described in this paper.

はじめに

昨年（平成6年）夏，住宅・都市整備公団の試験研究所（八王子試験場）に大型境界層風洞が完成した。

公団八王子試験場には，昭和51年，コンクリートPC板接合部の防水性を試験するための風雨発生装置の送風機を転用した風洞実験装置が設置され，昭和55年以降公団が開発する住宅団地の主に風環境を対象とした風洞実験を実施してきた。

今回の風洞の新設は，設置後約20年が経過して機械装置の更新時期を迎えていること又，この実験装置が元々風洞として建設されたものではないため部分的な改修や改善では現在の各種風洞実験に要求される風洞内気流が作成できないことなどのため，風洞建屋を除き全面

的な更新を行ったものである。

以下，新風洞の基本性能について報告する。

1. 新風洞の基本コンセプト

1. 1 条件

新風洞を計画するについて与えられた条件には次のようなものがある。

建設地 公団八王子試験場内の既存風洞の設置場所とする。

風洞建屋 既存風洞建屋をできるだけ活用する。

以上の2点と建設予算，完成時期を除き他には新風洞を計画する上での条件は特になかった。但し，既存の風洞建屋が隣地との境界に近い下屋の増築計画に際

* 1 住宅・都市整備公団 試験研究所 専門役
Senior Specialist, Research Inst., Housing and Urban Development Corp.
(原稿受理：1995年6月30日)

しては平面計画上の制約条件となった。

1. 2 コンセプト

新風洞は、次のようなコンセプトに基づき計画された。

(1) 住宅・都市整備公団が設置する風洞として必要にして十分（最適）な規模、性能を有すること。

公団の社会的な役割や、性格を踏まえ又、研究所の組織形態やマンパワーの実態から、風洞の規模は、無闇に大型化を目指すのではなく、扱いやすい、最適な規模・性能を求めることにした。

Photo. 1 風洞内観
(Interior of the working section)

(2) 実験に必要とされる良好な風洞気流を実現する。

風洞内気流は、各種の風洞実験を行う上で必要な性能条件を満足しなければならない。このために必要な測定胴の長さや縮流比等は十分な距離・値を確保するよう努めた。その結果、既存の建屋内に風路を納めることは不可能であったため、既存建屋の耐力壁2枚を撤去し、風路はここを貫通して半分以上を建屋の外に出した。このため、建屋の外の風路を囲う下屋を増築することとした。

(3) 使い勝手が良い実験施設と、快適な執務スペースを同時に実現する。

当然のことであるが、実験装置・設備としては、使い易いことを第一に考える。従来二次的に考えられていたきらいのある計測・執務スペースは風路、ターンテーブル（下）等への作業動線を配慮した位置とし又、計測機器の設置位置と所要スペースを考慮して十分な空間を確保し快適な執務環境の実現に意を用いた。

更に、実験の準備作業が主にターンテーブル下の空間で行われることから風路下の作業空間の確保及び執務室等との断面関係にも細心の注意を払った。

Fig. 1 風洞実験施設の平面図 (Plan of the wind tunnel)

2. 風洞実験施設

2. 1 概要

風洞実験施設の平面図をFig. 1に、主要性能の諸元をTable 1に示す。風洞実験施設は、Fig. 1に示すとおり長辺方向が、40.55m、短辺方向が23.1mの平面形を有し、北側の約半分が風路、南側半分が、執務室、計測室、工作室、倉庫等の諸室となっている。

Table 1に示すとおり風洞形式は回流型境界層風洞であり、測定胴の幅は、2.8m高さ2.1m長さ17.5mである。風速範囲は、測定胴ターンテーブル中心で0.5~30m/sの間、連続可変である。

Table 1 風洞の主要性能諸元
(Main specifications of the wind tunnel)

風洞形式	回流型境界層風洞
風路総延長	86m
測定胴断面	幅：2.8m 高さ：2.1m 長さ：17.5m
縮流比	5.12
風速範囲	0.5~30m/s (ターンテーブル中心)
風速分布	1%以下 (風速5~15m/s, 境界層範囲を除く)
乱れの強さ	0.5%以内 (同上)
送風機	口径 ϕ 3.55m
送風機用電動機	直流電動機 200KW

Table 2 送風機及び電動機の仕様
(Specifications of the Fan and the Motor)

送風機	項目	仕様
	形式	軸流一段式
	口径	3.55m
電動機	翼の枚数	動翼 6枚, 静翼 7枚
	翼の材質	FRP製
	形式	他力通風型直流電動機
	出力	200KW
	最大回転数	1150rpm
	回転数制御	サイリスタレオナード方式
	ファン駆動	Vベルト駆動方式

Table 3 ターンテーブル装置の仕様
(Specifications of the turn table device)

直径	ϕ 2.0m
回転移動の範囲	± 360 deg. *N (無制限)
回転移動速度	4 rpm
繰り返し位置決め精度	± 0.1 deg. /360deg.
上下移動の範囲	上方向：400mm 下方向：200mm

Table 4 トラバース装置の仕様
(Specifications of the traverse device)

移動範囲	X軸 (風路軸)	ターンテーブル中心から $\pm 1,500$ mm
	Y軸 (風路直交軸)	ターンテーブル中心から $\pm 1,100$ mm
	Z軸	風洞床面から $\pm 1,500$ mm
移動速度	θ 軸 (Z軸の回転)	± 360 deg.
	X, Y, Z軸	1,500mm/min.
繰り返し位置決め精度	θ 軸	60rpm
	X, Y, Z軸	± 0.1 mm/m
	θ 軸	± 0.1 deg. /360deg.

2. 2 送風機及び電動機

Table 2に送風機及び電動機の仕様を示す。送風機は、口径 ϕ 3.55mFRP製の可変ピッチ動翼6枚静翼7枚である。電動機は、200KWの直流電動機を使用し、ファンの駆動にはVベルトを使用している。

2. 3 風路

風路は測定胴を既存建屋内に収容し他の部位は下屋を増築してその中に納めている。風路が執務室と計測室に接する間仕切り壁は、風路の側壁を兼ねている。この側壁には、執務室と計測室に各一ヶ所大型ガラス (幅:3.5m高さ:1.6m) がはめ込まれ、風洞内の監視がそれぞ

Fig. 2 風洞制御・風圧計測システム
(Block diagram of the wind tunnel control and wind pressure measuring systems)

Photo. 2 風洞制御装置
(Control devices of the wind tunnel)

れの部屋から容易に行えるようになっている。

風路を構成する各部位のうち、送風機部のケーシング及び縮流胴の構造は鋼製とし、その他の風路各部の床、壁、天井は、鉄骨造を骨組みとした合板製である。

第二拡散胴は、高さのみ3.5mから4.5mへ増加している。

測定胴は幅が2.8m高さが2.1m、縮流胴の終端からターンテーブル中心までの長さが17.5mである。

整流胴にはハニカムが一枚とステンレス製整流金網（線径0.27mm、20メッシュ）が二枚が設けられている。

2. 4 ターンテーブル・トラバース装置

執務室前面の測定胴に電動昇降機能（手動微調整機構付）を有する直径2.0mのターンテーブル装置がある。ターンテーブル装置の仕様をTable 3に示す。

ターンテーブル設置箇所の天井面には風洞内気流へ与える影響が最も小さいと考えられる外装式のトラバース装置が設けられている。この装置では、風洞内に現れる部材は、風速計を支持する外径40mmのポールのみである。トラバース装置の仕様をTable 4に示す。

2. 5 風洞制御・データ計測システム

送風機、ターンテーブル、トラバース装置はシーケンサーにより制御される。各装置の制御操作は、共通の操作盤（液晶画面のタッチパネル）若しくは、ワークステーションにより行う。制御対象装置の選択や各種の設定は、ディスプレイ画面に表示されるメニュー項目を選択し、設定値を入力する方式であり、設定内容の確認や各装置の現状確認等が容易に行えるものである。

本風洞でのデータ計測は、現在、高層建物の建設に伴う風環境予測を行う際必要となる風速（建物周辺気流）計測と窓ガラスや建具等の高層建物外装材の設計用風荷重を設定する際必要となる外圧（風圧）係数の計測である。

風速の計測には、128chの多点風速計を用いている。風圧の計測は、8ch同時のスキニング方式（最大測定点数：8×48=384ch）により行っている。

尚、平成7年度には動的天秤を導入し、変動風力計測を可能とする予定である。

Fig. 2に風洞制御と風圧計測のシステムを示す。

3. 風洞内気流の性状

3. 1 一様流の場合

(1) 平均風速比分布

風洞内風速（測定高さ：風路床上1.2m、以下同様）が10m/sの場合のターンテーブル中央位置における風路

直交断面の平均風速分布をFig. 3に示す。

図中の数値は、断面中央位置における風速を基準とした各点の風速比である。床面近傍測定点を除き風速の比は、1±0.01程度の範囲に納まっている。

(2) 乱れの強さの分布

風洞内風速が10m/sの場合のターンテーブル中央位置における風路直交断面の乱れの強さの分布をFig. 4に示す。床面境界層の範囲外の測定点では、ほぼ0.3%

Fig. 3 ターンテーブル中央位置での風速分布
(Distribution of mean wind speed ratio at the working section)

Fig. 4 ターンテーブル中央位置での乱れの強さの分布
(Distribution of turbulence intensity at the working section)

Table 5 スパイヤの形状・寸法
(Shape and size of the spires)

種別	スパイヤの形状			目標のべき指数
	L(mm)	H(mm)	B(mm)	
I	500	1500	273	1/2~1/3
II	520	1557	237	1/4~1/5
III	545	1635	169	1/6~1/7

以下の値になっている。

(3) 静圧分布

測定部での平均風速が10m/sの場合の風路各部における圧力分布をFig. 5に示す。静圧の測定位置は、風路中央床上1.00mであり、基準圧は室内圧（工作室に圧力溜を設けた）である。

同図によればターンテーブル位置において約2mmAqの負の静圧が生じており、この値が風速の増加に伴い増大することが分かった。負圧の存在は実験を実施する上で不都合な事態を引き起こすことがあるため、第二コーナーベンに取り付けられた飛散防止ネットを利用して風路断面の一部を閉塞し、ターンテーブル位置の静圧値を調整した。調整後の風路各部の静圧値をFig. 6に

示す。

又、ターンテーブル位置における静圧値を各風速毎にFig. 7に示した。平均風速が5~20m/sの範囲において調整後の静圧値はほぼ大気圧（室内圧）と等しくなっている。

この方法による静圧調整では閉塞部での圧損発生により測定部の最大風速は低下する。本風洞の場合最大風速30m/sの要求仕様に対し送風（電動）機の能力に余裕があったためこのような措置を採ることができた。

Fig. 7には、参考として静圧調整を行わない場合の測定結果も示している。

(4) 送風機の運転に伴う風路内温度の上昇

測定胴における風速が20m/sの状態では送風機を8時

Fig. 5 風路各部における圧力分布（静圧調整前）
(Distribution of pressure along the wind tunnel)

Fig. 6 風路各部における圧力分布（静圧調整後）
(Distribution of pressure along the wind tunnel)

間連続運転したときの風路内の温度変化を外気温の変化と共にFig. 8に示す。風路内の温度は、送風機の運転開始後、外気温の上昇と共に上昇し、外気温が低下後も上昇を続けるが、運転開始の約6時間後に33.5℃で平衡状態になった。風路内の温度上昇勾配は最大1.8℃/時であった。

3. 2 境界層流の作成

(1) 境界層作成方法

実験に使用する境界層流を作成するためFig. 9に示すスパイヤとFig. 10に示すラフネスブロックを作成した。スパイヤの形状・寸法は目標とするべき指数にたいしH.P.A.H.Irwinの提案¹⁾を参考としてTable 5のとおり設定した。

Fig. 7 各風速毎の静圧値
(Variation of pressure with wind speed at the working section)

Fig. 8 送風機運転に伴う風路内部の温度の変化
(Variation of the temperature in the wind tunnel during the fan work)

(2) 気流の特性

1) 気流のプロファイル

平均風速の鉛直分布のべき指数が1/4の場合のスパイヤとラフネスブロックの配置をFig. 11に示す。実験風速が10m/sの時この配置により得られる平均風速と乱れの強さの鉛直分布をFig. 12に示す。図中の実線は、境界層高さを1200mmとし、べき指数を1/4として引いた曲線である。乱れの強さは、模型縮尺を1/400~1/500とした時、建築学会荷重指針式²⁾と良い対応を示している。

2) 変動風速のパワースペクトル密度

風速が10m/s、べき指数が1/4の場合のターンテーブル中央位置(測定高さ: 7~100cm)における変動風

Fig. 9 スパイヤの形状
(Shape of the spires)

Fig. 10 ラフネスブロックの形状
(Shape of the roughness blocks)

速のパワースペクトル密度をFig. 13に示す。スペクトル形状は、各高さ共概ねカルマン型に一致している。

3) 乱れのスケール

同じく風速が10m/s, べき指数が1/4の場合のターンテーブル中央位置における乱れのスケールを周波数が0のパワースペクトルの値から求めた。縮尺率が1/

300, 1/400及び1/500の三つのケースについて乱れのスケールの高さ方向分布をFig. 14に示す。乱れのスケールは報告されている自然風の観測結果と近似した傾向を示している。同図には、参考として建築学会の荷重指針²⁾に示される式の値も示した。

Fig. 11 べき指数1/4の場合のラフネスブロック配置
(Layout of the roughness blocks and the spires, power law index = 1/4)

Fig. 12 気流のプロファイルと乱れの強さ
(Vertical distribution of mean wind speed and turbulence intensity)

Fig. 13 変動風速のパワースペクトル密度
(Power spectral density of wind speed fluctuation)

Fig. 14 乱れのスケールの鉛直分布 ($U_r = 10 \text{ m/s}$)
(Vertical distribution of turbulence scale)

おわりに

公団八王子試験場内に新設された風洞実験施設の基本性能について報告した。本風洞の基本性能は、1.2 コンセプトの項で記した目標性能をほぼ実現できたものと考えている。この風洞では、平成6年末から公団各支社からの要請に応じて風環境予測や建物外装材の風荷重を求める実験を行っている。これらの実験については、早期にルーチン作業化できるように体制の確立を図ることになっている。

又、今後は風力や風に起因する振動を対象とした実験が実施できるように実験設備や計測・解析ソフトの整備を進めていきたいと考えている。

謝辞

新風洞がここに紹介したような形で完成するまでには多くの方々の協力をいただいている。

東京工芸大学田村幸雄教授、神奈川大学大熊武司教授、風工学研究所藤井邦雄所長など「風力及び振動を対象とした風洞実験手法の開発研究委員会」³⁾の委員の皆様には、旧風洞の性能についての各種調査や新風洞の企画、構想、性能仕様の策定に際して多大なご尽力をいただいた。風技術センター吉田正昭社長には、基本設計から実施設計、ディテールの検討の各段階において、徹底して使い易さにこだわった数多くの貴重なアイデアを提案していただいた。尚、本風洞装置は(株)風技術センター

の設計・製造になるものであり、風洞建物の増築工事は安藤建設が施工した。又、本報に掲げた風洞内気流の作成や気流性状の調査は、泉創建エンジニアリングの丸川比佐夫氏が中心となって実施したものであることを最後に記しておきたい。

本風洞の企画、設計、施工及び完成後の性能確認や気流作成等の各段階でご協力いただいた数多くの関係者の皆様に心から感謝の意を表します。

参考文献

- (1) H.P.A.H.Irwin ; The Design of Spires for Wind Simulation, J.W.E. & I.A., Vol.7, 1981, pp. 361 - 366
- (2) 日本建築学会；建築物荷重指針・同解説, 1993
- (3) 田村, 大熊他；風力及び振動を対象とした風洞実験手法の開発研究報告書, 住宅・都市整備公団, 1992