資 料

新風洞装置およびリアルタイム風圧可視化システムの紹介

Introduction of New Wind Tunnel and Real-time Wind Pressure Visualization system

寺崎 浩^{*1}

吉川 優^{*1}

相原知子^{*1}

中村良平^{*1}

Hiroshi TERAZAKI Masaru YOSHIKAWA Tomoko AIHARA Ryohei NAKAMURA

1. はじめに

大成建設株式会社の技術開発部門発足 60 周年となる 2020 年、横浜市戸塚区の技術センター敷地内「風のラボ」に新大型風洞が竣工した。本風洞は、旧風洞(1983 年～2020 年)と同様に吹き出し型のエッフェル型境界層風洞であり、計測胴の断面積および長さを旧風洞の約 2 倍に大型化することで、大規模プロジェクトへの対応および実験精度の向上が図られている。

本資料では新大型風洞装置の概要と、同時に開発したリアルタイム風圧可視化システムについて紹介する。

図1 風のラボ外観

2. 新大型風洞装置

2. 1 風洞装置本体

本施設の特徴としては、図1に示すようにスパン長 9.5 m の大スパン CLT による木構造であること、要求性能を満たす風洞装置を限られた敷地に収めるために省スペース化を実現したことである。

図2に新大型風洞の全体外形図を、表1に風洞の諸元を示す。新風洞の計測胴の断面は幅 3.2m、高さ 2m であり、旧風洞(幅 2m、高さ 1.5m)の 2.1 倍の断面とした。計測胴の長さは 23.8m で、旧風洞(11m)の約 2.2 倍を確保した。

新風洞では小型の軸流送風機を 6 台採用し(図3)、大型軸流送風機 1 台で計画した場合と比較して、装置全長で約 20% の省スペース化およびコストダウンを実現している。

図2 風洞装置の全体外形図

また、小型の軸流送風機は準汎用品であり、個別の送風機交換が容易な設計とすることにより、送風機の保守性も向上している。

* 1 大成建設(株) 技術センター 研究員 hiroshi.terazaki@sakuta.taisei.co.jp
Taisei Advanced Center of Technology, TAISEI Corp.

表1 新大型風洞の諸元

項 目	概 要
方 式	室内回流式エッフェル型風洞
計測部寸法	・幅 3.2m×高さ 2m×長さ 23.8m ・ターンテーブル直径 3m
最大風速	23m/s
送風機	軸流送風機 6 台
実験項目	多点風圧実験, 風環境実験, 空力実験, 空力振動実験, 可視化実験

図3 軸流送風機外見

最大風速は 23m/s であり, 最大風速時の乱れ強さは 0.7%である。送風機6台の制御は個別制御も可能としているが, 通常風洞実験時は縮流胴吹き出し口断面における風速分布が一様になるよう, 風速レベルごとに送風機6台の回転数を事前に調整した情報を元に, 一括制御している。

図4に計測胴の内観を示す。ターンテーブルは外形φ3mで, 大規模案件などにも対応可能である。

ターンテーブル下部には移動可能な重量架台とその上部に空力用分力計などを設置可能な自動回転装置を設置した(風洞制御用PCからターンテーブル本体と連動して回転を制御可能)。

トラバサ装置は計測胴天井からの外挿型であり, ターンテーブル中心から風方向±1,600mm, 風直交方向±1,500mmの平面内を移動可能である。

2. 2 気流作成デバイス

風洞実験気流を作成するデバイスとしては, 図5に示すように, スパイヤ, バリヤおよびラフネスブロックを主に利用するが, 新大型風洞ではスパイヤおよびバリヤを

図4 風洞内状況 (1/400 模擬市街地模型)

図5 気流作成デバイスの例

図6 角度可変スパイヤ装置

図7 升降式バリヤ装置

風洞制御用PCから自動制御する機構を実装しており, これらを微調整することにより効率的に実験気流を作成することが可能である。

角度可変スパイヤ装置(図6)は, 縮流動吹き出し口風下に設置されており, スパイヤ本体を着脱することにより, 2本~5本の配置を可能としている。スパイヤは図6

に示すように、スパイヤに取り付けられた板の開閉角度を閉 (0°) から全開 (180°) まで制御できる。

昇降式バリアは昇降装置により高さ 0mm~300mm まで設定できる装置であり、スパイヤの風下近傍とターンテーブル風上側の計測胴中央近傍位置の2カ所に設置されている (図7)。なお、スパイヤの開閉およびバリアの昇降は静的な動作であり、これらを動的に制御して乱流を発生させることは想定していない。

3. リアルタイム風圧可視化システムの開発

新風洞において「風の見える化」を可能とするリアルタイム風圧可視化システムを開発した。

3. 1 風洞実験の課題と開発目的

一般に建築物を対象とした風洞実験では、数百分の一程度の縮尺模型に風洞気流を当て、建物模型に作用する風圧力や周囲の風速を計測する (図4)。その際、各種センサーで計測された物理量は、目的に応じた分析を経て数値データとして設計・計画に使用される。風洞実験は最も信頼性の高い風工学技術として長年に渡り多くの実績を有するが、実験において風の現象を視覚的に確認できない欠点がある。特に、耐風設計用風荷重を評価するために多くの案件で実施される風圧実験では、模型表面に数百点設けられた風圧測定点で変動圧力データを得ることができるため、風の現象に係る多くの情報を内包するものの、実験結果としての出力対象は各測定点における統計値 (風荷重の数値) を表示するのみであった。風圧分布は本来、複雑な乱流現象に起因した圧力変動から決定づけられるものであるが、従来の実験法では正圧 (押し力) や負圧 (引き力) の領域がどのような挙動を示しているか、また風向によってどのように変化するかを確認できないため、風の流れや渦のパターンを離散的な分析データから推測する必要があった。

そこで、実験者および立会・見学者が、風圧力の複雑な現象をその場で視覚的に確認し、風荷重評価結果に対しその要因を理解できることを目的として、風圧実験データを迅速に可視化し、実験室内のモニターに3D表示するシステムを開発した (図8)。

3. 2 可視化システムの機能

リアルタイム風圧可視化システムの開発仕様を以下に挙げる。

①実験模型と同様の3Dモデルに、実験で得られた数百点の風圧分布を導圧チューブの周波数補正を含めて迅速にコンターマッピングする。

②風圧実験におけるデータ計測終了からモニター表示までのタイムラグは数秒程度とする。

③変動風圧データは10コマ/sの3Dアニメーションで表示する。

④アニメーション再生中、付属のコントローラを用いて視点の移動や、図形の拡大・縮小をインタラクティブに操作できる。

⑤任意のタイミングで可視化できる。

⑥実験で計測した風圧分布の他、事前にCFDで求めた気流等の解析結果 (動画または静止画) も重ねて表示可能とする。

図8 リアルタイム風圧可視化システムの概要

3. 3 リアルタイム再生の概要

本システム名称の「リアルタイム可視化」には、「計測後すぐに見ることができる」という意味の他に、「実スケールの現象として見るることができる」という意味が含まれている。

風洞実験では、縮尺率が数百分の一の模型を使用し、か

つ実験風速は約 10m/s 程度とするのが一般的である。具体例として、高さ 200m の超高層建築物で設計風速が 40m/s の場合、風洞実験で高さ 0.5m の模型で実験風速 10m/s とすると、長さ比 $\lambda_L = 1/400$ (模型縮尺率)、風速比 $\lambda_U = 1/4$ である。この時、時間の比 $\lambda_T = \lambda_L / \lambda_U = (1/400)/(1/4) = 1/100$ であることから、風洞内では、100 倍速で現象が再現されていることとなる。

本システムでは、現象の直感的理解を促すため、実験で計測された変動風圧データ (サンプリング周波数 1,000Hz) を上記の各縮尺率に合わせて約 100 倍の時間に伸長し、実スケールで動画再生を行う。仮に 1 秒間 (1000 ステップ) のデータであれば、約 100 秒間 (10 コマ/s) の動画として再生される。風洞実験とリアルタイム表示の時刻歴波形に関する対応を図 9 に示す。

図 9 リアルタイム処理表示の概要

3. 4 本システムによる表示例

図 4 に示す市街地の風圧実験における本システムの表示例を図 10 に示す。

図 10 風圧計測結果のリアルタイム表示例

これらの情報は、ともに実スケールの変動現象として動画再生されると同時に、付属のコントローラ操作により視点の移動や拡大・縮小が可能である。また、実験条件の変化に対する即時応答性も確保されているため、例えば実験風向の変化 (模型が設置されている風洞ターンテ

ーブルの回転) に対しても迅速に処理され表示される (図 11 に表示例を示す)。このように、従来の風洞実験では見ることができなかった風圧分布の変化を 3D グラフィック動画としてリアルタイム可視化することにより、直感的に現象が把握できる。

本システムは CFD プログラムのポストプロセッサが出力可能な静止画やアニメーションを取り込むことが可能である。CFD は、近年の計算工学技術の発展に伴って建築分野でも広く普及しており、多くの情報を得ることができるため、本システムのように実験技術と融合させることで風工学技術の更なる発展が期待できる。

(1) ズームアップ時

(2) 回転して風上側表示

(3) 回転して風下側表示

図 11 風圧計測結果のリアルタイム表示例

4. まとめ

新大型風洞装置の概要を紹介し、同時に新しい風洞実験技術として「風の見える化」を風圧実験に適用したリアルタイム風圧可視化システムを開発した。風洞実験において、本表示システムにより離散的な2Dの統計値から空間的な3D動画へと飛躍的に向上した情報量を即時に得ることが可能となったため、風工学研究における現象解明、設計者との合意形成、立会・見学者へのプレゼンテーション等、様々な場においてその効果が期待される。

参考文献

- 1) 大成建設技術センター 風のラボ HP
<https://www.aisei-design.jp/de/works/2019/kazenolabo.html>
- 2) 大成建設,新大型風洞とリアルタイム風圧可視化システム紹介 HP
https://www.aisei.co.jp/about_us/wn/2020/200108_4848.html
- 3) 寺崎 浩,吉川 優,相原 知子,中村良平,「リアルタイム風圧可視化システムの開発」,大成建設技術センター報 第53号,2020
https://www.aisei-techsolu.jp/tech_center/report/2020/