

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04457

研究課題名(和文)耐風設計の合理化に向けた空力データベース再構築とWEBベース設計支援ツールの開発

研究課題名(英文) Reconstruction of aerodynamic database and development of WEB-based design support tool for wind-resistant design

研究代表者

吉田 昭仁 (YOSHIDA, Akihito)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号：90329219

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は建築物の合理的な耐風設計をWEB上で実施可能にする耐風設計支援システムを開発することであった。本学風工学研究センターが有していた空力データベースを、耐風設計支援システムと連携するため新たにサーバを立ち上げて再構築した。新たに数多くの建物形状、地表面粗度を変化させた実験を行い、新空力データベースを大幅に拡充した。日本建築学会の建築物荷重指針・同解説の風荷重算定法に基づき、WEB上で風荷重を算定できる仕組みを構築した。これらの研究成果により、構造設計者や研究者等が建築物の外装材用風荷重、構造骨組用風荷重、建築物の変位応答等を直接WEBベースで算定することができるシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

WEBベースの空力データベースおよび風荷重算定システムが公開されたことにより、構造設計者が、より実情に即したデータに基づいた耐風設計を行うことが可能となった。空力データベースへのアクセス件数は6600回(2019年度)に達しており、研究成果の社会的意義が非常に大きいことがわかる。また、電子的空力データベースの再構築とデータ拡充、機能増強が推進され、構造設計者だけでなく多くの研究者が風圧風力に関する生データを共有でき、これを用いた風応答解析の実施により、強風時の各部材の詳細な挙動を把握して、より高度な耐風設計を一般の設計者が独自に行うことが可能となり、学術的意義は極めて大きいものと考えている。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to develop a support system of a wind-resistant design that enables reasonable wind-resistant design of buildings to be performed on the WEB. The aerodynamic database that was held by the wind engineering research center in Tokyo Polytechnic University was rebuilt by launching a new server to link with the wind-resistant design support system. A new aerodynamic database has been significantly expanded by conducting a number of new wind tunnel experiments in which the building shape and terrain roughness were changed. Based on the Recommendation for Loads on Buildings published by the Architectural Institute of Japan, the WEB system can calculate the wind load for the structural frame and the cladding of building have developed. Based on these research results, we have constructed a system that enables structural designers and researchers to get the information they need for their design and to directly calculate the wind response on the WEB.

研究分野：建築構造

キーワード：風荷重 耐風設計 空力データベース

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

従来から、建築物荷重指針・同解説(日本建築学会), ASCE7-02, あるいは ISO4354 のような紙媒体の基規準類によって建築物の耐風設計が行われてきている。インターネットで構築される電子情報社会の到来は, 紙の媒体による従来型の基規準に基づく設計が, いずれは, コンピュータ内に構築された建物モデル(FEM モデル)に対して風洞実験等で得られる建物表面風圧を作用させるような電子的空力データベースに基づく耐風設計体系に移行するであろうことも示唆している。このように, 電子化データベースに基づく耐風設計が世界的趨勢になることは必至であり, 申請者のグループでは WEB ベースの耐風設計への移行を視野に入れて, 世界に先駆けて早くから空力データベースの構築を行ってきた。その結果, 現時点で世界最大の空力データベースを有することとなり, 世界的に認知されている。これまでの研究成果を踏まえて, これらの空力データベースと連動した WEB ベースの耐風設計支援システムを開発する着想に至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は建築物の合理的な耐風設計を WEB 上で実施可能にする耐風設計支援システムを開発することである。また, その際に必須となる風圧係数, 風力係数, 荷重の組合せ係数等は建物の形状や周辺状況で変化するが, 現在の紙ベースの規基準類でそれらを網羅することは不可能であるため, 本研究では電子的空力データベースを耐風設計支援システムと連携できるものとして再構築し, 収録する空力データを大幅に拡充する。この電子的空力データベースと耐風設計支援システムを WEB 上で連動させる仕組み(Fig.1)を構築し, 建築物の構造設計実務者や耐風工学の研究者等が建築物の外装材用風荷重, 構造骨組み用風荷重, 建築物の風方向, 風直交方向の変位応答等を直接 WEB ベースで算定することができ, 実施設計にそのまま適用できるシステムを開発する。(図1)

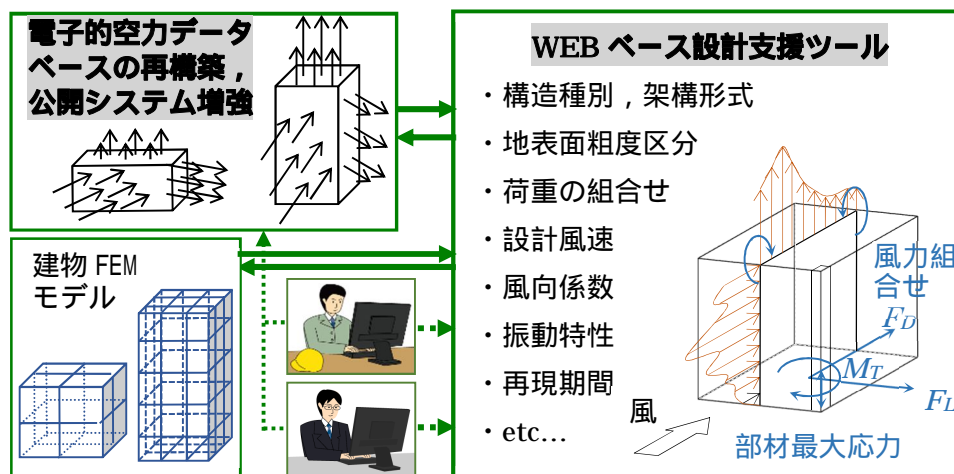


図1 合理的な耐風設計に向けた空力データベースの再構築
および WEB ベース耐風設計支援システムの開発

3. 研究の方法

本研究目的を達成するためには「空力データベースの構築」, 「WEB ベース耐風設計支援システムの開発」を同時並行で進めていく必要があり, それぞれのシステムの構築および改良作業を行う期間を含めて4年間の研究計画を立てた。初年度に「空力データベースの構築」, 2年目に「WEB ベース耐風設計支援システムの開発」を大きな柱として, それに付随する各研究項目を実施する計画とした。例えば, 構造骨組用, 外装材用風荷重の評価ツールの構築, 各種建築物の風洞実験の実施による風圧・風力特性の把握と荷重組合せ係数, ユニバーサル等価静的風荷重分布の検討など, 耐風設計に係わる種々の研究を実施する計画とした。これら各研究項目が複雑に絡みながら最終目的となる「合理的な耐風設計の実施」を WEB ベースで可能とする研究計画を立てた。下記に研究項目と についてそれぞれの具体的な研究方法を述べる。

(1) 空力データベースのシステム設計, 再構築, データベースの増強

・電子的空力データベース公開システムの設計

申請者らが所属する本学風工学研究センターでは, 現時点でも低層建築物, 中高層建築物の風洞実験データが風向変化を含めて2850 ケース, 隣接建物がある場合の高層建築物の実験データが10,749 ケース公開されており, 世界最大の空力データベースを有している。しかしながら, 現在の空力データベースは公開後10年近く経過しており 種々の不具合が発生している。また, 各 WEB ページを手作業で追加しているため, アップロード作業が間に合っておらず, 公開すべき数多くの実験データが未公開のままとなっている。そのため, 実験終了後にデータの質を確認して, なるべく早い段階で公開が可能な新しい空力データベース公開システムを構築する。

・空力データベースの増強, 改良

再構築する電子的空力データベース公開システムの実験データをより一層充実させる。現時

点で未公開となっている風圧実験データ(例えば地上設置型ソーラーアレイ, 屋上設置型ソーラーアレイ, 鉛直隅欠きを有する高層建築物等の風圧特性)についても順次公開する。また, 現在公開している平均, 変動, ピーク風圧係数および風圧の時刻歴記録だけでなく, 研究分担者がこれまで検討を実施している荷重効果およびその組合せ係数も公開できるようにデータベースの改良を行う。

- ・ 低層建築物の風圧特性の把握

低層建築物の風圧特性を詳細に把握し, 空力データベースへの追加, 電子的な設計用資料として纏めることを目的として, 本学の大型乱流境界層風洞で風圧実験を実施する。地表面粗度区分や実験風向, 建物形状を変化させて実験を行うことで, これらのパラメータによる風圧特性への影響を定量的に評価し, 得られた風圧記録を空力データベースへ追加する。

- ・ 空力データベースの公開

再構築した空力データベースを WEB 公開システムに実装して一般公開する。そのために, 外部からのアクセスおよび使用可否について事前に動作検証を行い, ダウンロード項目の登録などのパラメータ設定を行い, 本データベースの本格運用を開始する。

- ・ 空力データベースの増強, システム強化

風圧, 風力実験模型を用いて本学風洞で実施した実験結果を空力データベースへ追加する。また, 研究分担者が提案している全部材の最大応答を再現することが可能なユニバーサル等価静的風荷重分布についても, 空力データベースに追加できるようにシステムの改良, 強化を行う。

- ・ 中高層建築物の風圧・風力特性の把握

構築した空力データベース公開システムの空力データベースを増強することを目的として, 本学風洞により中高層建築物の動的風力実験・風圧実験を実施する。辺長比, アスペクト比の異なる中高層建築物の風力模型を製作し, 地表面粗度区分, 実験風向を変化させて風力特性を把握する。また, 低層建築物と同様に FEM 解析モデルを作成し, 柱基部の曲げモーメントやせん断力等の荷重効果の組合せについても検討する。この検討結果についても風力特性に加え, 空力データベースで公開する。

(2) WEB ベース耐風設計支援システムの開発

- ・ 国内外の規基準類の類型化と設計フローの整理

本研究の目的の一つである WEB ベース設計支援ツールを開発するために, 国内外で定められている風荷重に関する種々の規基準類を調査・分析し, 設計の考え方や方針等の類型化を試みる。また, 類型化された種々の設計パターンを基に, 外装材用風荷重, 構造骨組用風荷重の WEB ベース設計支援ツールの設計フローチャートを作成する。

- ・ 現有する空力データベースの再構築

これまで旧システムで公開していた空力データベースについても, 新公開システムへデータを移行し, 空力データベースを再構築する。旧システムで公開していたデータ数は空力データベースとして世界最大であり, この2年間でも5000件以上も参照されている。

- ・ WEB ベース耐風設計支援システムの基本設計の検討

再構築された種々の空力データベースと将来的に増強される空力データベースを用いて, インターネット上で風荷重および種々の荷重効果の算定を可能とする耐風設計支援ツールの基本設計を行う。この設計支援システムは Java script および Matlab 等を用いて作成する予定であり, IT の専門業者との打合せを行いながら基本設計を行う。また, 本システムを実装する WEB サーバの要求性能等についても検討する。

- ・ 構造骨組用風荷重評価ツールの開発

基本設計の検討で得られる耐風設計支援システムは設計対象となる荷重および応答ごとに準備する必要があり, 初年度は構造骨組用風荷重の算定が可能な評価ツールを開発する。空力データベースで公開されている種々の建築物の風圧記録を空間積分して得られる風力の時刻歴記録と FEM 解析のハイブリッド利用で風荷重, 荷重効果の組合せを評価することができる評価ツールを開発する。

- ・ WEB ベース耐風設計支援システムの構築

基本設計の検討で得られた知見および基本設計フローを WEB 上で具現化することを目的として, IT の専門業者に業務委託して, 構造設計者, 研究者等が使いやすいインターフェースを有する耐風設計支援システムを構築する。なお, WEB ベース耐風設計支援システムには前年度に開発した構造骨組用風荷重評価ツールや当該年度に開発する外装材用風荷重評価ツールだけでなく, 減衰評価ツール等の今後開発予定の設計支援ツールを随時追加していくことが可能な設計支援システムとする。

- ・ 外装材用風荷重評価ツールの開発

WEB ベース設計支援システムに実装予定の外装材用風荷重の評価を WEB 上で可能とする評価ツールを開発する。項目(1)で新たに構築する空力データベースにある種々の建築物のピーク風圧係数を用いて建築基準法や日本建築学会・建築物荷重指針等で算定される外装材用風荷重をオンラインで評価できるシステムとする。また, 外装材は対象物の大きさにより, ピーク値の平均化時間を変化させる必要があるため, 本評価ツールは外装材の大きさもパラメータとして風荷重を評価できるようなツールとして開発する。

- ・ WEB ベース耐風設計支援システムの WEB サーバへの実装

開発した WEB ベース耐風設計支援システムを新規購入予定の WEB サーバへ実装し、既に運用を開始している空力データベースと連動してオンライン上での解析が可能であることを最終確認するとともに、外部からの使用における問題点について検討する。

・WEB ベース耐風設計支援システムの公開

これまで実施してきた WEB ベース耐風設計支援システムを国内外の設計実務者および研究者が使用可能な状態に移行して本格的に運用を開始する。設計実務者に使用を依頼し、本システムの改善点等の意見集約を行う。また、本耐風設計支援システムは英語ベースで構築する予定であるが、国内向けに日本語版のインターフェースの構築を順次行う。

・設計支援ツールの改良

公開した耐風設計支援システムに対して設計実務者および研究者から集約した改善意見を基に、インターフェースの改良、諸外国の耐風設計手法の追加検討を行う。

4. 研究成果

3. 研究方法で述べた 2 つの大項目である「空力データベースの再構築」、「WEB ベース耐風設計支援システムの開発」について、それぞれ研究成果を示す。

(1) 空力データベースの再構築

・空力データベース公開システムの基盤構築：現有する空力データベースは公開後 10 年近く経過しており、種々の不具合が発生している。実験終了後にデータの質を確認して、なるべく早い段階で公開が可能な新しい空力データベース公開システムの基盤構築を行った。イタリアの Bologna 大学の研究員であり、Aero Viewer という独自の風洞実験データ公開ソフトを作成している Luca Patruno 氏を招聘し、操作性、機能性に優れた公開システム構築について議論を行い、基本設計を行った。

・現有する空力データベースの改良・増強：これまで旧システムで公開している空力データベースに対して寄せられた国内外からの質問をもとに、公開中の空力データベースの改良を行った。また、空力データベースを増強するために、基本体形状の風力模型を 6 体作成し風力実験を実施した。

・空力データベースの増強：構築した電子的空力データベース公開システムの実験データをより一層充実させるために風圧実験を行った。平面形状が 1:4.5 の扁平建築物の風圧模型を作成し、建築物高さを 1~5 まで変化させた実験を行った。地表面粗度区分、実験風向を変化させ、各ケースにおいて実時間 10 分相当を 20 サンプル計測した。空力データベースで公開するため風圧係数、風力係数等を求めた。

・低層建築物の風圧特性の把握：空力データベースへ追加するために、低層建築物の風圧実験を実施した。地表面粗度区分や実験風向、建物形状を変化させることで、これらによる風圧特性への影響を定量的に評価し、得られた風圧記録を空力データベースへ追加する。また、既に公開している軒なし低層建物のデータベースについて、風圧の時刻歴記録はこれまで 1 サンプルのみ公開していたが、より多くのサンプルの公開を望む声が多いため、10 サンプルを公開するためのデータを作成した。

・空力データベースの公開：構築した空力データベースを WEB 公開システムに実装して一般公開した。外部からのアクセスおよび使用可否について事前に動作検証を行い、ダウンロード項目の登録などのパラメータ設定を行い、本データベースの本格運用を開始した。(図 2, 図 3)

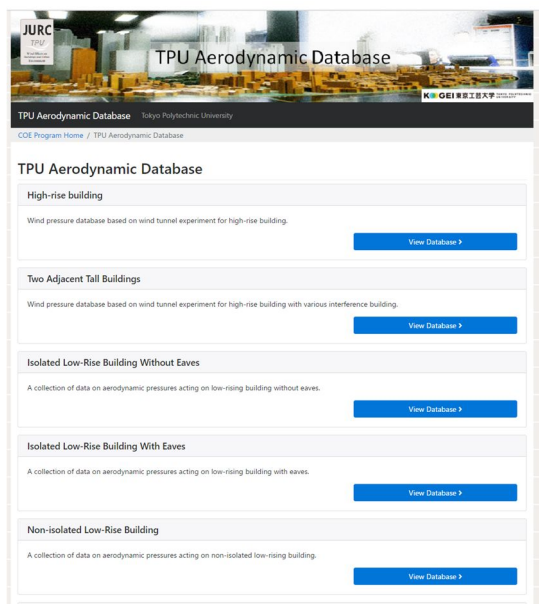


図 2 再構築した TPU 空力データベース

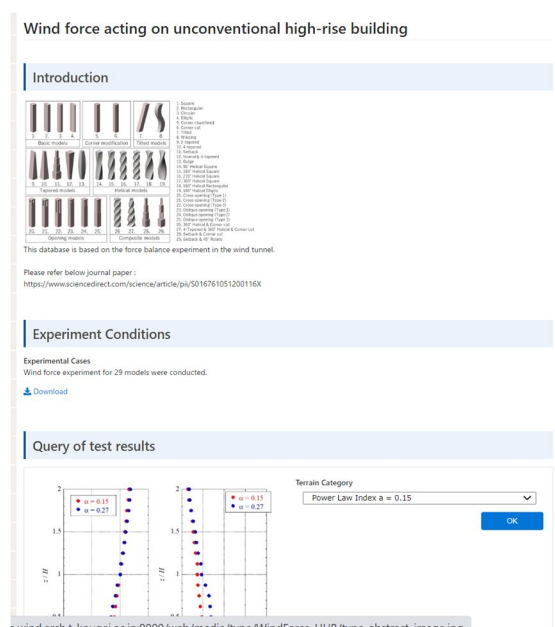


図 3 増強したデータベースの一例

- ・ 空力データベースの増強：基本形状模型および隅角部形状を変化させた風圧，風力実験模型を用いて本学の大型乱流境界層風洞で風圧実験および風力実験を実施し、空力データベースへ追加するためのデータ確認およびデータ整理を行った。また、2年目までに空力データベースの基盤を構築していたが、アップロードするデータの多様化に対応するために、データ公開システムの改良および機能強化を行った。

- ・ 中高層建築物の風力特性の把握：構築した空力データベース公開システムの空力データベース増強を目的として、本学風洞により中高層建築物の動的風力実験を実施する。辺長比，アスペクト比の異なる中高層建築物の風力模型（20体程度）を用い，実験風向を変化させて風力特性を把握した。また，既往の研究結果および米国ノートルダム大学、台湾淡江大学が有するデータベースとの比較を行い、得られた実験データの妥当性を検証した。

(2) WEB ベース耐風設計支援システムの開発

- ・ 国内外の規基準類の類型化と設計フローの整理：本研究の目的の一つである WEB ベース設計支援ツールを開発するために、国内外で定められている風荷重に関する種々の規基準類を調査・分析し，設計の考え方や方針等の類型化を試みた。

- ・ WEB ベース耐風設計支援システムの基本設計の検討：再構築された種々の空力データベースと将来的に増強される空力データベースを用いて，インターネット上で風荷重および種々の荷重効果の算定を可能とする耐風設計支援ツールの基本設計を行った。初年度は日本建築学会の建築物荷重指針・同解説の2004年版に基づいた風荷重算定を WEB 上で行うことのできるシステムの構築を業務委託して WEB サーバで公開した。

- ・ 外装材用風荷重評価ツールの設計：外装材用風荷重の評価を WEB 上で可能とする評価ツールを開発するためのフローチャートを整理し，基本設計を行った。外装材は対象物の大きさにより，ピーク値の平均化時間を変化させる必要があるため，外装材の大きさもパラメータとして風荷重を評価できるようなツールを開発するようフローチャートを整理した。

- ・ WEB ベース耐風設計支援システムの WEB サーバへの実装：初年度に作成した日本建築学会建築物荷重指針・同解説（2004年版）で規定された風荷重が WEB 上で計算可能な設計支援システムを、バックアップ、データ複合機能を追加した WEB サーバへ実装した。

- ・ WEB ベース耐風設計支援システムの公開準備：これまで実施してきた WEB ベース耐風設計支援システムを国内外の設計実務者および研究者が使用可能な状態に移行して本格的に運用を開始するための準備を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Akihito Yoshida, Yuka Masuyama, Akira Katsumura	4. 巻 Vol.8 (No.48)
2. 論文標題 Characteristics of Negative Peak Wind Pressure acting on Tall Buildings with Step on Wall Surface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of High-Rise Buildings	6. 最初と最後の頁 pp.283-290
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Wonsul Kim, Akihito Yoshida, Yukio Tamura	4. 巻 Vol.8 (No.48)
2. 論文標題 Wind-induced Aerodynamic Instability of Super-tall Buildings with Various Cross-sectional Shapes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of High-Rise Buildings	6. 最初と最後の頁 pp.303 - 311
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Akihito Yoshida
2. 発表標題 Peak wind pressure acting on high-rise buildings with step on wall surface
3. 学会等名 International Workshop on Wind Effects on Buildings and Urban Environment（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihito Yoshida, Yuka Masuyama and Akira Katsumura
2. 発表標題 Peak wind pressure acting on high-rise buildings with step on wall surface
3. 学会等名 The 15th International Conference on Wind Engineering（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihito Yoshida
2. 発表標題 Characteristics of peak wind pressure acting on tall buildings with step on wall surface
3. 学会等名 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京工芸大学空力データベース http://db.wind.arch.t-kougei.ac.jp/</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	金 容徹 (KIM Yongchul) (30572416)	東京工芸大学・工学部・教授 (32708)	
研究分担者	松井 正宏 (MATSUI Masahiro) (60350576)	東京工芸大学・工学部・教授 (32708)	
研究分担者	田村 幸雄 (TAMURA Yukio) (70163699)	東京工芸大学・工学部・名誉教授 (32708)	