

Wind Effects

New Frontier of Education and Research in Wind Engineering

News

Vol.28 July 2011

Wind Engineering Research Center
Graduate School of Engineering
Tokyo Polytechnic University

INDEX

- 平成 22 年度の研究成果紹介 1
- 第5 回国際シンポジウム「都市・建築物へのウインド・イフェクト」
(ISWE5) 開催報告 8
- 第 2 回日本 - 韓国ジョイントワークショップ開催報告 10
- CAU-TPU Wind Engineering Joint Workshop 開催報告 11
- Fetch effect of surrounding buildings on wind pressures
acting on low-rise building 12
- Wind pressures on multi-level flat roofs of medium-rise
buildings 15

平成 22 年度の研究成果紹介

強風防災分野 (プロジェクト 1)

1) 竜巻状の旋回流内での建造物の単体基本モデルへの作用空気力に関する実験

竜巻状旋回流発生装置を用いて、基本形状立方体に作用する風圧力の性質を調べた。特に、竜巻流れ場に大きな影響を与えるスワール比や、竜巻中心と物体との相対的位置関係によって作用する風圧力がどのように変化するかを調べた。また、地表面粗度の影響についても調査した。



図 1 粗面上の基本立方体形状風圧モデル



図 2 滑面上の竜巻状旋回流の可視化



図 3 粗面上の竜巻状旋回流の可視化

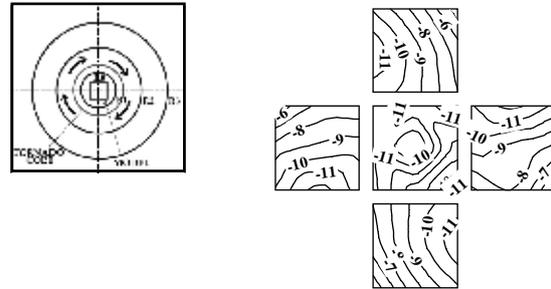


図 4 ピーク風圧係数分布 (負圧) 竜巻状旋回流中心に位置する場合 R0, スワール比 S1.3

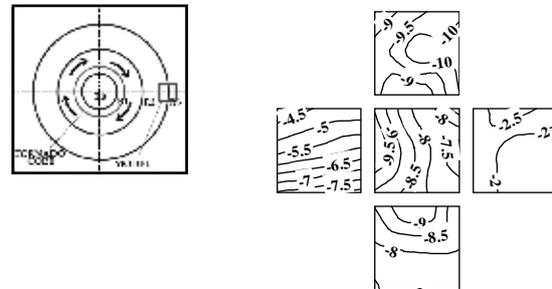


図 5 ピーク風圧係数分布 (負圧) 竜巻状旋回流中心から離れている場合 R3, スワール比 S1.3

2) 突風等のガストフロント内での非定常空気力に対する建築物の応答特性解析

ダウンバーストにおけるガストフロントの様な突風を対象に、物理モデル、計算モデルの構築を目指し、そのような流れ場に置かれた物体表面に発生する風圧力の様子を明らかにし、ガストフロントファクターによる耐風設計法を確立することを目的としている。本年度では、ガストフロント内に置かれた高層建物に作用する非定常風速、風圧及び風力時刻歴に対し、HHT(Hilbert-Huang Transform) 解析を行い、風速の低周波成分、つまり平均風速の非定常性は非定常風力に最も影響していることを明らかにした。さらに、風圧模型で得られた非定常風圧を利用し、建築物の応答特性解析を行っている。

3) 航空写真および衛星写真からの被害認識手法の適用性検討

強風災害の特徴は、広範囲に被害が分布することであり、災害直後の被害調査では、特に局所的な現象でない限り、悉皆調査は困難である。被害発生後の対策を検討する自治体や、気象と被害額の相関を必要とする損害保険等では、全体の被害把握が重要であり、人工衛星画像等のリモートセンシング技術による被害認識手法に期待が寄せられている。

2010年度は、自動的に抽出された建築物について、ウェーブレットを用いて被害部分を抽出し、ニューラルネットワークを用いて被害程度のカテゴリ分けを行い、適用性の検討を行った。



	House No	Visual Recognition	System recognition		Ground truth Data
			Without Wavelet	With Wavelet	
Few Samples for Training	Hse 6	RS-1	RS-1	RS-1	NA
	Hse 8	RS-1	RS-1	RS-1	NA
	Hse 3	RS-2	RS-2	RS-2	RS-2
	Hse 4	RS-2	RS-2	RS-2	NA
	Hse 1	RS-3	RS-3	RS-3	RS-3
	Hse 2	RS-3	RS-3	RS-3	RS-3
	Hse 5	RS-4	RS-4	RS-4	NA
	Hse 7	RS-4	RS-4	RS-4	RS-4
Few Samples for Validating	Hse 9	RS-1	RS-1	RS-1	NA
	Hse 11	RS-2	RS-1	RS-2	RS-2
	Hse 10	RS-3	RS-2	RS-4	NA
	Hse 12	RS-4	RS-4	RS-4	NA

- (a). A portion of the satellite imagery, showing the sample house selected for training in red rectangular boxes and for validation in yellow rectangular boxes.
- (b). ANN Classification and Identification of the RS scales with and without wavelets for some example sample houses and validation using visual recognition and ground truth information

図6 人工衛星画像による建築物の被害認識例

4) 外装材繰返し載荷試験装置による外装材耐風性実験

2010年10月に導入された本装置の性能検証を、試験体設置部に金属製蓋を設置して本装置加圧部(以下チャンバー)を密封した状態で静的・動的に装置性能の検証を行った。さらに施工例のある天井板およびそれが野縁などを通して建築構造体に固定する部分を含めたシステムを試験体として設置して耐力試験を行って本装置を用いた試験を行うにあたっての問題点、留意点を明らかにした。



図7 試験装置概要(左:加圧部, 右:圧力調整部)

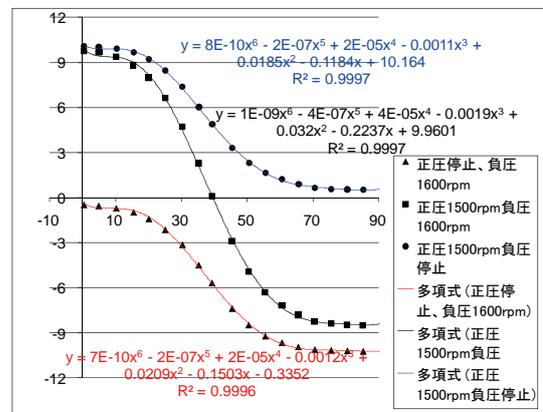


図8 連動弁角度とチャンバー内圧力の関係式(静的性能把握)

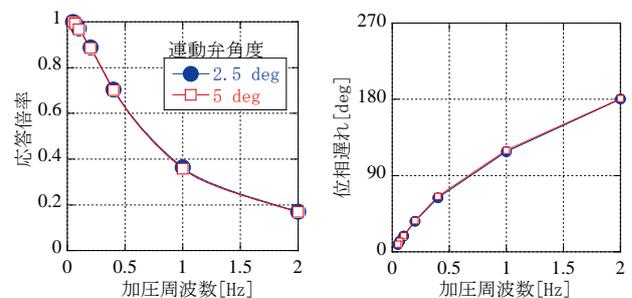


図9 2種の加圧レベルにおける動的応答倍率と位相遅れ(動的性能把握)

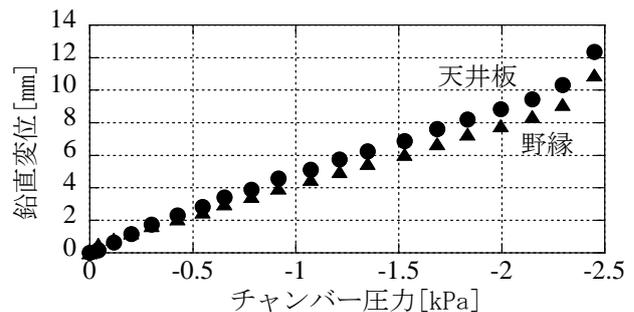
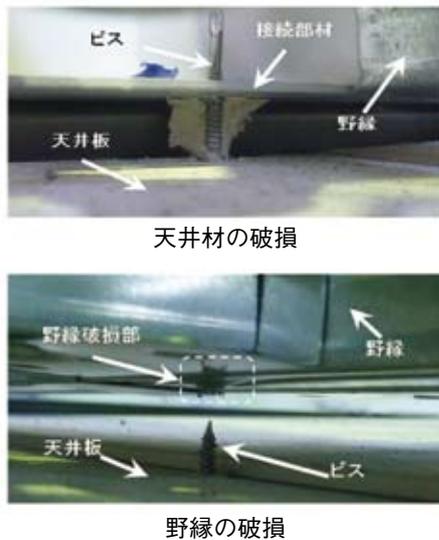


図10 天井板と野縁の圧力に対する変位(天井板システムの加圧試験)



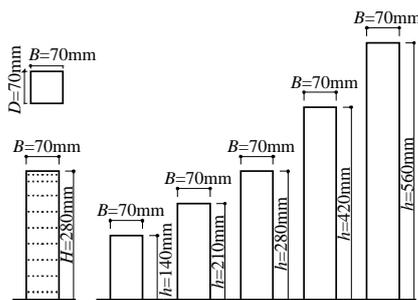
天井材の破損

野縁の破損

図 11 二種の破壊モード (天井板システムの加圧試験)

5) 建築物のピーク風圧力および風力に対する周辺建築物群の影響の定量化

高層建築物が隣接して建ち並ぶ場合に建築物間を流れる風が複雑になり、風下側に建つ建築物では、風上側の建物の相互作用により、外装材に作用する風圧が増大する可能性がある。そのため、隣接建物の位置、高さの違いが対象建物のピーク外圧係数に与える影響を定量的に把握することを目的として、高層建築物が隣接して計画される場合を想定した系統的な風圧実験を行った。隣接建物高さや隣接建物の位置により、影響度合いは異なるが最大で30%程度ピーク風圧係数が増大することが明らかとなった。



(a) 対象模型 (b) 隣接模型

図 12 模型の形状寸法

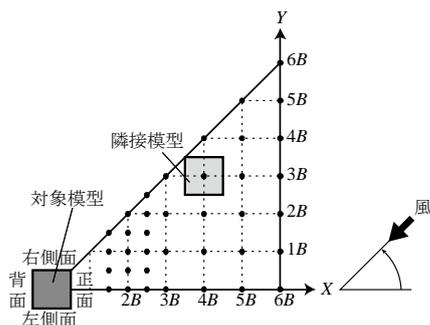


図 13 隣接模型配置図および風向の定義

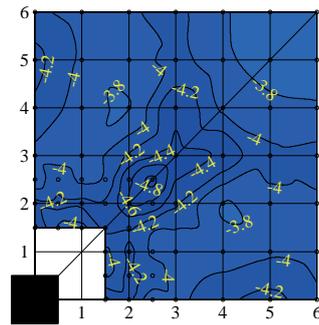


図 14 対象建物の負のピーク風圧係数の隣接建物位置による変化 (単体時: -3.7)

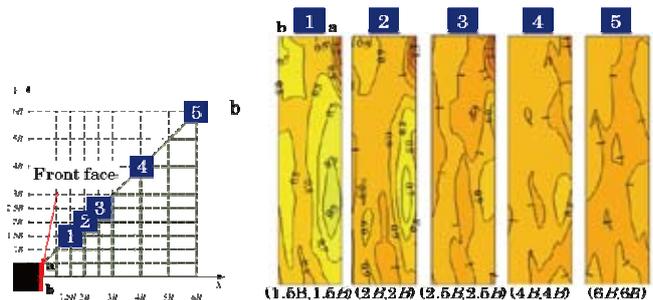
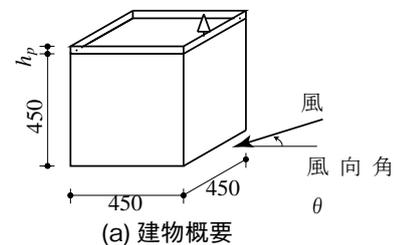


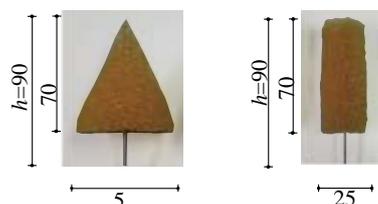
図 15 負のピーク風圧係数の Interference Factor (Front face 面)

6) 屋上緑化システムの耐風安全性に関する風洞実験

本研究では、屋上緑化の樹木が受ける風荷重を評価するために、歪みゲージセンサーを用いて建物屋上の樹木の位置や風向を変化させた際の風力係数を調べるために、樹木模型を用いた風力実験を行った。微小風力を計測するために歪ゲージを用いたアルミフレームセンサーを作成し、建物上部に設置された樹木に作用する風力を計測し、建物の風上端部に樹木がある場合には鉛直上向きの風力が樹木に生じており、風方向風力も大きいことなどが明らかとなった。また、建物のパラペット高さにより樹木の風方向風力が大きく変化することが分かった。



(a) 建物概要



(b) 樹木模型 A (c) 樹木模型 B

図 16 模型の形状寸法 [mm]

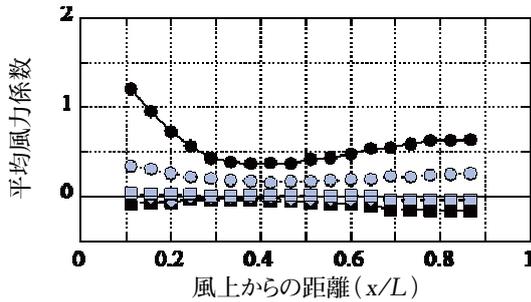


図 17 樹木の位置による平均風力係数の変化

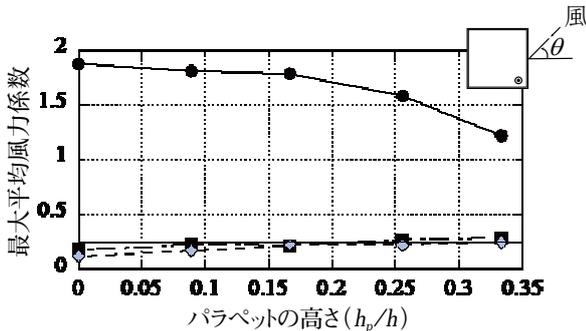


図 18 平均風力係数のパラペット高さ h_p^* による変化 ($x/L=0.13$)

7) 仮想的工学組織 VORTEX-Winds の各種モジュールの調整と EVO 組織の維持管理

いままで、東京工芸大学、University of Notre Dame の共同によりオフラインで検討されてきた VORTEX-Winds が本年度ネット上で [https://www.vortex-winds.org/] 公開された。公開後にはユーザーによる指摘に基づき検討を加え、随時コンテンツに改良が施された。

各種モジュールのうち、空力データベースにおいては従来のコンテンツに加え、隣接する建築物の影響を考慮に入れた高層建築物の表面圧力分布に関するコンテンツの作成が行われ、従来の空力データベースに導入される予定である。また耐風被害データベースにおいては本年度中に日本国内 8 箇所が発生した竜巻による被害に対する調査が行われており、これらにより得られた結果は随時コンテンツとして加えられていく。

これらのコンテンツは EVO が指定する専門委員による審査を経て、公開される予定である。

表 1 隣接建物の影響に関するコンテンツの諸条件

実験模型	寸法 (mm) ($B \times D \times H$) ^a ($B_p \times D_p \times H_p$) ^b	模型高さ比 ($H_p = H_1 / H$)	実験模型の位置	風向
対象模型	70×70×280	1	1	0° - 355° (5° steps)
隣接模型	70×70×140	0.5	37	0° - 355° (5° steps)
	70×70×196	0.7	4	0° - 355° (5° steps)
	70×70×280	1	37	0° - 355° (5° steps)
	70×70×420	1.5	37	0° - 355° (5° steps)
	70×70×560	2	4	0° - 355° (5° steps)

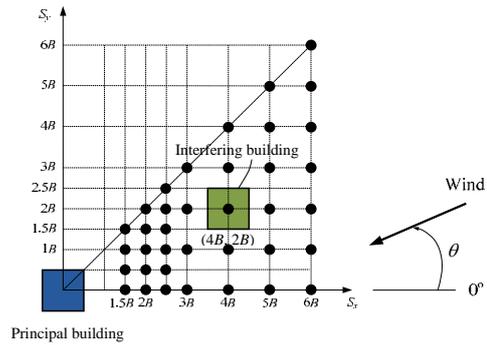


図 19 隣接建物位置及び風向の定義

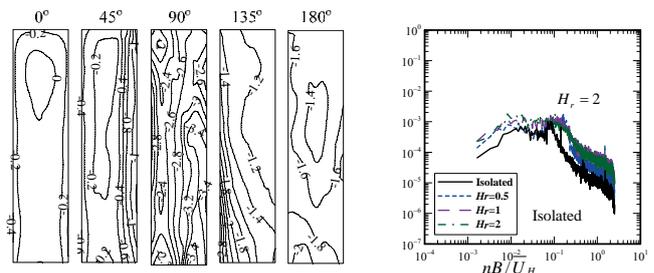


図 20 コンテンツ例 (圧力分布と基準化圧カスペクトル)

表 2 過去 2 年で行った被害調査一覧

2009			2010		
県	市町村	日付	県	市町村	日付
群馬	館林	6/27	新潟	胎内	10/15
千葉	九十九里	10/8	秋田	潟上	10/17
茨城	土浦	10/8	千葉	山武	11/1
茨城	竜ヶ崎	10/8	秋田	八峰	11/12
秋田	能代	10/30	石川	志賀	11/29
			福井	福井	11/29
			神奈川	鎌倉	12/3
			新潟	上越	12/9



図 21 被害分布および事例の一例 (2010 年 10 月 17 日 潟上市)



図 22 EVO 掲載事例 (2009 年 10 月 8 日 九十九里市)

8) 仮想的工学組織 VORTEX-Winds 知識データベース「風工学 Wikipedia」の開発

VORTEX-Winds の主要なコンテンツのひとつが、風工学に関する基礎的な用語や概念を辞典のように解説する「風工学 Wikipedia」であり、5 分野（工学のためのマイクロ気象学、空気力学／空力弾性学、構造力学、実験法、性能評価）が含まれる。現在までにシステムの設計は完了しており、本年度、一部コンテンツとともにインターネットに公開さ

れた。一方で日本におけるそれぞれの分野の研究者に風工学の主要な項目に関する執筆を依頼し、京都大学、東北大学、清水建設、日本建築総合試験所、風工学研究所などといった大学や企業などに所属する研究者 12 名から、35 のテーマに関するコンテンツを執筆していただく旨、了承を得ており、また原稿もそろいつつある。今後 EVO の定める所定の手続きを経て、コンテンツは執筆者了承のもと EVO 上でインターネットに公開される予定である。



図 23 Wind Wiki のトップページ（4つのアイコンに分類されて関連用語を検索することが可能）

表 3 現在コンテンツ執筆依頼をしている項目一覧

Flow around Low-Rise Building	Extreme Wind Load Distributions
Flow around 3-Dimensional Circular Cylinder	Flow around Buildings in Urban Area
Dynamics of Ideal Fluid	Habitability to Wind-Induced Building Vibration
Flow Measurement Technique	Countermeasures for Strong Wind in Urban Area
Flow around 3-Dimensional Rectangular Prism	Wind observation [period, locations, and contents]
Flow around High-Rise Building	Wind Environmental Problems due to High-Rise Building Construction
Feature of Flow Field around 2D Structure	Discomfort by Wind Induced Motion
Feature of Flow Field around 3D Structure	Flow around Other 2-Dimensional Sectional Cylinder
Boundary layer and Reynolds number	Mean Wind Pressure Distribution of Rectangular Prism
Irrotational Flow and Complex Analysis	Fluctuating Wind Pressure of Rectangular Prism
Dynamics of Viscous Flow, -Navier-Stokes equation-	Design Wind Speed
Flow around Bridge Section Structure	Significance of Full-Scale Monitoring
Flow visualization around the structure	Full-Scale Measurement of Pressure
Pollution around Building	Edge Tone
Flow around Multiple 2-Dimensional Bluff Bodies Arranged in Tandem or In-Line	External Pressure Coefficient and Internal Pressure Coefficient
Generation of Drag Force	Temporal Fluctuation of Internal Pressure
Velocity Pressure and Wind Pressure Coefficient	Wind Directionality Factor
Temporal Fluctuation of Wind Pressure	Necessary Range of Topographic Model in Wind Tunnel
Spatial Scale of Pressure Fluctuation	Karman Vortex Street
Examples of Wind-Induced Oscillation on buildings	Flow around Sphere
Auxiliary Damping Devices	Flow around 2-Dimensional Inclined Circular Cylinder
Equivalent Static Wind Load	Full-Scale Measurement for Responses

通風換気分野 (プロジェクト 2)

通風換気分野を取り扱うプロジェクト2では、「通風・換気設計法の研究開発」と「自然通風・放射涼房システムの開発」について取り組んでいる。平成22年度に得られた研究成果の一部を以下に紹介する。

1) 人体の発汗特性、人体熱放散量・ぬれ面積率等に関するCFD検証用データベースの作成

温熱生理量モデルの検証用データを取得する目的で、通風型人工気候室を用いて、被験者実験を行った。風は定常風と周期定常風の2タイプとした。図1に発汗量スペクトルピーク周波数と風速変動スペクトルピーク周波数の関係を示す。周波数0.02Hz～0.2Hzの範囲で発汗スペクトルピークと風速変動スペクトルピークがほぼ一致しており、発汗周期は気流周期と高い相関があることが判った。周波数0.2Hz以上では発汗計の応答性の問題から、正確なスペクトルピークを観測できなかった。また、周期定常風0.01Hzでは他のケースに比べて、はっきりした発汗量スペクトルピークが観測されなかった。図2に人体熱放散量と風速変動スペクトルピーク周波数との関係を示す。気流速度と温湿度が一定であるので、対流放熱量、放射放熱量、不感水分蒸散は風速変動スペクトルピーク周波数によらずほぼ一定値を示した。気温32℃、相対湿度70%の場合、気流周期によらず、蒸発放熱量は全放熱量の40%程度を占めている。風速変動スペクトルピーク周波数が大きくなるにつれて、蒸発放熱量は小さくなる傾向を示した。回帰式の相関係数は-0.76で、有意水準5%の範囲で有意であった。汗の蒸発放熱量は、短周期よりも長周期の気流変動のときに促進された。図3にぬれ面積率と風速変動スペクトルピーク周波数の関係を示す。周期定常風のスペクトルピーク周波数が大きくなるにつれて、ぬれ面積率は小さくなる傾向を示した。回帰式の相関係数は-0.72、有意水準5%の範囲で有意であった。気流の変動は、発汗蒸発に影響を及ぼし、自然風の緩やかな変動が発汗蒸発に効果的であることが示唆された。

2) 定風量通風特性を有する風力閉鎖式通風雨戸の開発

雨戸の働きには防雨、防風、防犯、断熱、防音、プライバシーの確保がある。しかし、防犯のために雨戸を閉めると、外気温度が低い夜間に、窓を開けて通風することができず、冷房装置を運転しなくてはならなくなる。そこで、防犯性能を維持しつつ通風可能なガラリ(錠戸)型の「通風雨戸」が開発されている。しかし、現在使われている通風雨戸は、ガラリの開度を手で変化させる方式のため外部風が急に変動すると通風量が変化してしまうだけでなく、

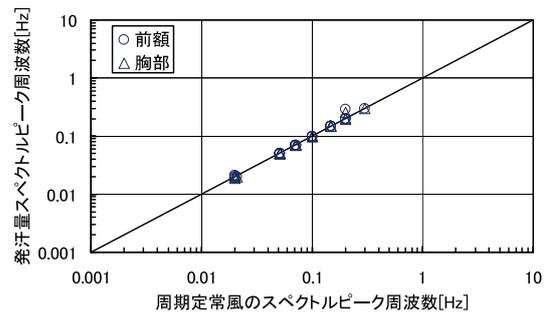


図1 発汗量および風速変動のスペクトルピーク周波数の関係

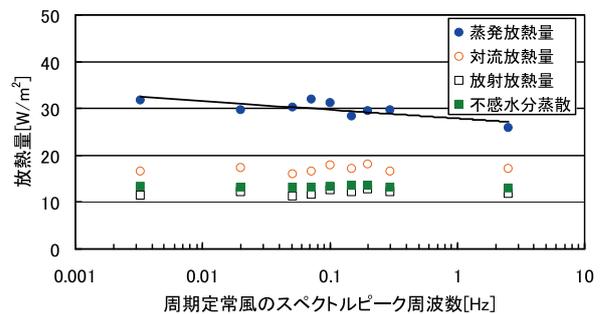


図2 人体熱放散量と風速変動スペクトルピーク周波数との関係

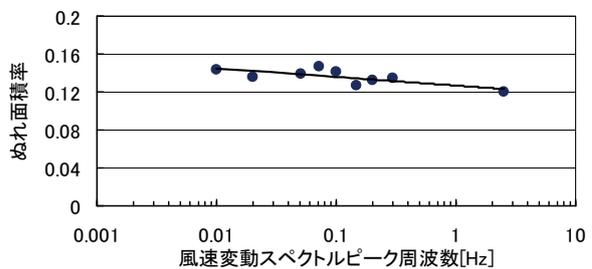


図3 ぬれ面積率と風速変動スペクトルピーク周波数との関係

不在時や就寝時に強い風雨があった場合、雨が入るなどの問題が発生する。

そこで我々は、風力によって自動的に閉鎖するガラリを取り付けることで、不安定な自然風の下でも一定かつ安定した風を取り入れられる通風雨戸の開発を行った。写真1に開発した通風雨戸の外観を、図4にバネとひもによる風力自動閉鎖機構を示す。図5は実験及び気流解析で得られた羽根の角度と風圧による閉鎖力の関係である。羽根開度が一定の場合は図6のように上流側風速と通風量は比例するが、バネとひもでバランスを調整した結果、弱風時(3.0m/s)も強風時(5.5m/s)もほぼ一定の通風量が得られるようになった(図7)。



写真1 通風雨戸の外観

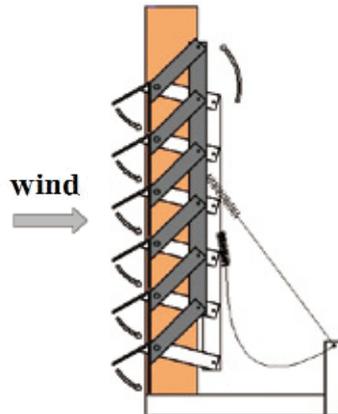


図4 風力自動閉鎖機構

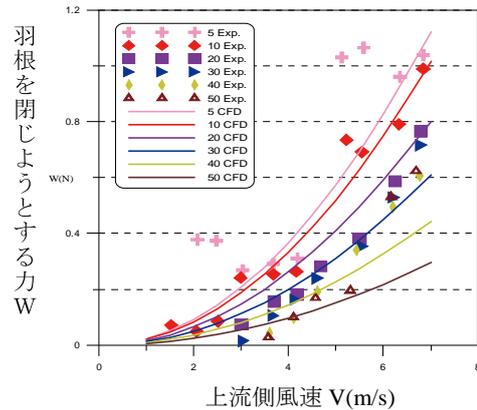


図5 羽根の角度と風閉鎖力の関係

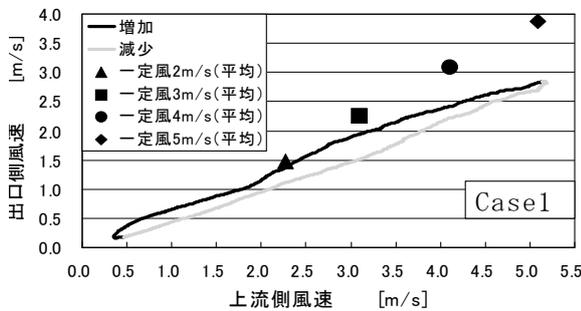


図6 羽根開度固定時の風速と通風量の関係

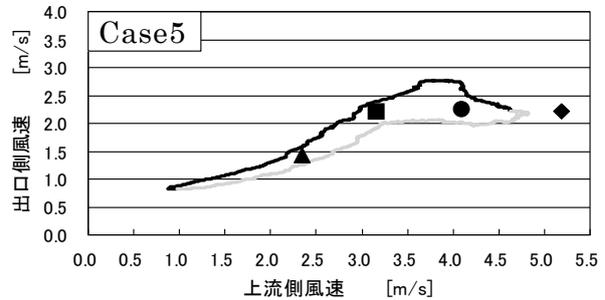


図7 風力自動閉鎖時の風速と通風量の関係

風環境・空気汚染分野 (プロジェクト 3)

1) 都市表面から大気への対流熱伝達率に関する研究

領域気象モデル WRF (Weather Research Forecasting) に組み込まれている都市キャノピーモデルでは、都市の建物壁面や地面から空気への対流熱伝達率の評価に Jurges 式が用いられている。この場合、対流熱伝達率が都市キャノピー内の代表風速によってのみ決まるため、建物群の形態によって大きく変化する対流熱伝達率を適切に評価することはできない。さらに、面ごと (建物風上面、風下面、側面、地面) に異なる対流熱伝達率を評価することもできず、全ての面に共通の値を用いることになる。

本研究は、都市表面から大気への対流熱伝達率を都市形態パラメータ (建蔽率、容積率、建物の高さのばらつき等) の関数として一般化し、都市キャノピーモデルに組み込むことを目的としている。その第一段階として、まず風洞実験によりバルク対流熱伝達量が都市形態に大きく依存することを確認した。ただし風洞実験では面ごとに異なる局所対流熱伝達率を求めることが困難である。さらにそれを実物のスケールに換算することも困難である。そこで低 Re 数モデルを用いた CFD 解析の対流熱伝達予測精度を上記風洞実験との比較により確認した上で、CFD を用いて都市形態パラメータやレイノルズ数、リチャードソン数を様々に変化させて局所対

流熱伝達率を調べた。その結果、局所対流熱伝達率は都市パラメータに依存して大きく変化することが確認された。特に建蔽率の影響が大きく、建蔽率が小さくなって風通しがよくなるほど、建物面・地面ともに対流熱伝達率は大きくなることが明らかとなった。また面によっても対流熱伝達率は大きく異なり、都市形態にかかわらず風上面>側面>風下面となっていることも明らかとなった。なお、これらの CFD 解析は計算時間の制限から風洞実験モデルで行ったものであり (実物スケールでは非常に長い計算時間がかかるため、こうした数多くのパラメトリックスタディを行うことは極めて困難)、得られた対流熱伝達率を実物のスケールに換算する必要がある。そこでモデルの 10 倍、100 倍のスケールの計算や流入風速を変えた計算を 10 種類程度行い、相似則について調査・分析を行った。その結果、スケールや流入風速にかかわらずヌッセルト数とレイノルズ数の関係がひとつの関数で表されることが明らかとなった。この関数 (都市パラメータ、面ごとに異なる関数) を用いれば、モデルスケールの CFD 解析から求めた対流熱伝達率を、任意のスケールの対流熱伝達率へ換算可能となる。今後はより多くのパラメトリックスタディを行い、この関数を都市形態やレイノルズ数、リチャードソン数をパラメータとして一般化し、WRF の都市キャノピーモデルに組み込む予定である。

2) WRF による風速鉛直プロファイルの再現

我々は、ビル風の確率的評価のための標準上空風データの整備や、都市のヒートアイランド現象の研究に、領域気象モデル WRF を用いることを計画している。そのためには、上空風速の発生頻度や風速の鉛直プロファイルを、WRF がどの程度再現できるかを明らかにしておく必要がある。そこで本研究では、大気境界層研究会がドップラーソーダによって観測したデータを用いて、上空風速の発生頻度を求めるとともに風速の鉛直プロファイルを抽出し、それらを WRF による計算結果と比較した。風速鉛直プロファイルを再現するには地表面粗度を適切に与えることが重要であると考えられる。WRF のデフォルトでは、USGS (United States Geological Survey) の 24 分類土地利用とそれに対応する地表面パラメータ(粗度長、アルベド等)が用いられているが、都市の粗密高低にかかわらず、USGS では都市が 1 種類のみで表されている。そこで、国土交通省の発行している GIS (Geographic Information System) を用いて、より実際の土地利用状況に基づいた土地利用分類を行い、さらに都市の土地利用区分を Low, High, Commercial の 3 種類に分けた。そして GIS に基づいて土地利用分類と地表面粗度を設定した WRF と、デフォルト設定の WRF の計算を行い、ドップラーソーダにより観測された台場と南千住の観測データとの比較を行った。上空風の累積頻度と風速の鉛直プロファイルとともに、観測値の傾向を WRF によってかなり良く再現することができた。臨海部の台場では地表面粗度の影響が小さいため、両者の計算結果にはあまり差異は見

られなかった。しかし内陸部の南千住では、GIS を用いた計算のほうが、格段に観測値との対応がよいことがわかった。これにより、地表面粗度を適切に与えることが重要であると明らかになった。

3) 非等温 LES の流入変動風作成方法に関する研究

都市のヒートアイランド現象や汚染物質の滞留現象は、ほとんどの場合、非等温流れ場で生じている現象であり、かつ弱風の場合により深刻となる。弱風時には温度変化に伴う浮力の影響もより大きくなる。しかしながら、こうした都市街区内の弱風域を対象とした非等温流れ場の CFD 解析に関しては、風工学の分野では、未だ十分な validation がなされていない。そこで本研究では非等温流れ場に関する精密な風洞実験を実施するとともに、この実験結果との比較により CFD 解析の検証を行っている。平成 22 年度には主として、不安定乱流境界層中および安定乱流境界層の LES 解析のための流入変動風の作成法について検討を行った。風洞とラフネスをそのまま再現して流入風速変動と温度変動を作成する方法と、リサイクリングによりそれらを作成する方法を試みた結果、両者ともにレイノルズストレスや乱流ヒートフラックスを含め風洞中の乱流特性をほぼ模擬する流入変動風を得ることができることが明らかとなった。ただし安定境界層の場合、作成された流入変動風は実験よりも乱れが大きくなる。これは用いた SGS モデルによるものと考えられ、今後は SGS モデルに関する検討も行っていく。

第 5 回国際シンポジウム「都市・建築物へのウインド・イフェクト」(ISWE5) 開催報告

開催日：2011 年 3 月 7 日 (月)、8 日 (火)

会場：ホテルサンルートプラザ新宿

2011 年 3 月 7 日、8 日に東京・新宿において、東京工芸大学 Global COE プログラムが主催となり第 5 回国際シンポジウム「都市・建築物へのウインド・イフェクト」が開催された。本シンポジウムでは開催主題として 'Wind Hazard Resilient Cities: New Challenges' を掲げ、台風や竜巻などの気象擾乱による強風災害リスクや都市の空気・熱汚染、環境負荷の増大など、風と都市建築物に関連する諸問題を解決するための議論の場を提供し、風関連災害リスクや環境負荷の少ない持続型都市社会の実現に貢献することを目

的とした。国際風工学会、国際風関連災害リスク低減グループ、高層建築・都市居住協議会、日本風工学会、日本建築学会、土木学会、大気環境学会、日本気象学会、空気調和・衛生工学会が協賛団体として名を連ねた。世界 12 カ国から 141 名(うち外国人 46 名)の災害に関連する研究者などの参加があり、招待講演 7 件、一般講演 40 件が提供され、それぞれの講演に対して非常に活発な議論が行われた。以下にセッション名および招待講演一覧を示す。

招待講演一覧:

- ・The Era of Tall Buildings: History and Development: Sang Dae Kim (Korea University)
- ・Analysis on Weather Characteristic in Myanmar: Win Zaw (Ministry of Construction Myanmar)
- ・Monitoring, Simulation and Their Hybrid Approaches for Investigation of Wind Effects on Long-span Bridges: Hui Li (Harbin Institute of Technology)
- ・Issues with validation of urban flow and dispersion CFD models: Michael Schatzmann (The University of Hamburg)
- ・Wind Hazard Resilient Cities: New Challenges: Kishor. Mehta (Texas Tech University)
- ・Wind and Rain Induced Effects on Stay Cables and Typical

Prisms: Yaojun Ge (Tongji University)

・Wind hazard in harbour areas: Giovanni Solari (University of Genoa)

セッション一覧:

- ・Urban disasters from the structural design perspective
- ・Hurricane-related wind risks
- ・Damage Detection Analysis using Satellite Image
- ・Challenges to couple engineering CFD and meteorological models for analyzing urban climate change
- ・Effects of Short-rise-time Gust on Structures
- ・Countermeasures for the disasters and Tornado-related issues
- ・Wind-Resistant Design



第2回日本 - 韓国ジョイントワークショップ開催報告

開催日：2011年3月5日(土)

会場：東京工芸大学 厚木キャンパス

2011年3月5日、東京工芸大学において第2回日本 - 韓国ジョイントワークショップが開催された。本ジョイントワークショップは、東京工芸大学大場正昭教授と釜慶大学(現釜山大学) Hee-Chang LIM 教授との2国間交流事業共同研究「ゼロエネルギー都市の建設に向けた通風・自然換気設計の最適化研究」の一環で、東京工芸大学と釜山大学の研究グループによる最新の研究活動についての情報交換、および相互協力を目指した意見交換を目的として企画され、第1回は2010年1月22日に釜慶大学で行われた。釜山大学からは、Hee-Chang LIM 教授と学生の3名が参加した。

ワークショップにおいては、大場教授による2国間の共同研究の紹介ののち、東京工芸大学から5題、CARDICから2題の研究発表があった。また、ジョイントワークショップ後に行われたレセプションパーティにおいては積極的な意見が交換されていた。

以下に Workshop における各研究発表のタイトルと発表者の一覧を示す。

- ・ Overview of ventilation studies and measures to improve the environmental performance of buildings : Lun Isaac

(Tokyo Polytechnic University)

- ・ Building simulation on reduction of cooling loads and thermal comfort by using cross-ventilation in Japan and Korea: Kenji Tsukamoto (Tokyo Polytechnic University)
- ・ Gap effect of multiple buildings on surface pressure under turbulent boundary layer: Hyung-Bong YANG (Pusan National University)
- ・ Study of cross-ventilated indoor air flow characteristics by frequency analysis: Tomoyuki Endo (Kanto Gakuin University)
- ・ Human-subject experiments on evaporative cooling of sweating using climate controllable wind tunnel: Masaaki Ohba (Tokyo Polytechnic University)
- ・ Study on the turbulence flow around various cavities : Hee-Chang LIM (Pusan National University)
- ・ Domain decomposition technique applied to evaluation of cross-ventilation performance of various opening conditions of a building: Takashi Kurabuchi, Kumiko Tsuruta (Tokyo University of Science)



写真1 大場教授によるオープニングスピーチ



写真2 テクニカルディスカッション



写真3 Hee-Chang LIM 教授によるクロージングスピーチ

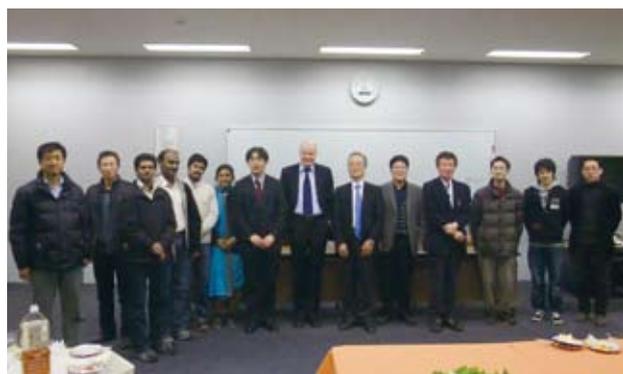


写真4 集合写真

CAU-TPU Wind Engineering Joint Workshop 開催報告

開催日：2011年6月22日(水)

会場：東京工芸大学 厚木キャンパス 本館6階 大会議室

2011年6月22日、東京工芸大学グローバルCOEプログラムと中国の長安大学(Chang'an University: CAU)の共催でCAU-TPU Wind Engineering Joint Workshopが開催された。またJoint Workshopに前後してCAUからの参加者を対象に東京工芸大学の研究施設を紹介するTechnical tourが行われた。本Joint Workshopは東京工芸大学とCAUそれぞれの風工学研究グループによる最新の研究活動についての情報交換、および相互協力を目指した意見交換を目的として企画されたものである。CAUからは、Professor, Lecturer, Engineerを含む5名が参加した。Workshopは、Liu教授によるオープニングアドレスに始まり、田村教授による東日本大震災に関する報告発表およびTPUから3題、CAUから1題の研究発表があった。またテクニカルツアーでは風工学研究センターが所有する4つの風洞、竜巻シミュレータ、太陽光発電システム、外装材耐力試験装置

など実験施設の紹介が行われた。これらのイベントおよび昼食時に行われたレセプションパーティにおいては積極的な意見が交換されていた。以下にWorkshopにおける各研究発表のタイトルと発表者の一覧を示す。

- ・The Great East Japan Earthquake Disaster 2011, Prof. Yukio Tamura, TPU
- ・Wind Pressures on Multi-Level Flat Roof of Medium-Rise Buildings, Mr. Jinxin Cao, TPU
- ・Interference Effect on Local Peak Pressure between Two High-Rise Buildings with Different Shapes, Mr. Yi Hui, TPU
- ・Wind-Induced Dynamic Behavior of a Monocoque Steel Chimney with Ring Stiffeners, Mr. Zhibin Ding, TPU
- ・Research at Wind Tunnel of Chang'an University, Prof. Jia Wu Li, CAU



写真1 テクニカルツアー



写真2 テクニカルディスカッション



写真3 集合写真

Fetch effect of surrounding buildings on wind pressures acting on low-rise building

YongChul Kim, Akihito Yoshida, Yukio Tamura

1. Introduction

As most low-rise buildings are built in large groups, one of the problems associated with prediction of wind loads on them is a lack of reliable and available experimental data. Furthermore, the complex nature of the problem makes it difficult to formulate analytical procedures for predicting wind load effects on low-rise buildings in large groups. As a result, very limited design data are available to engineers/designers. Moreover, the current standards and codes of practice, such as RLB-AIJ (2004), give little guide to engineers/designers in assessing wind loads in a situation where unusual wind effects are expected due to the proximity of surrounding buildings, implying the need for wind tunnel tests.

Most of these previous studies considered small groups of surrounding buildings (Sun et al., 2008), highlighting the fact that shielding effects increase with number of nearby structures. In the present work, in order to investigate the effect of a large group of surrounding buildings on wind pressures applied to a low-rise building, systematic wind

pressure measurements were conducted. The parameters considered include area density C_A , and upstream distance L_f .

2. Wind tunnel test

Wind tunnel tests were conducted at the Tokyo Polytechnic University in Japan. A 0.1m cubic model was used for the target low-rise building, and as dummy models, the same sized cubes made of wood were used. The target model was moved to the downstream side at specified intervals, determined by area density. Area density, C_A , was defined as the ratio of the area covered by the building to the building lot area, and changed as 6%, 11%, 16%, 25%, and 44%. A schematic of the wind tunnel test is shown in Figure 1 and the test cases are summarized in Table 1. For the peak coefficients, the Cook-Mayne method was applied for the moving averages of 0.05s in full time scale. A turbulent boundary layer with a power-law exponent of 0.2 ($U_H \approx 7.2\text{m/s}$, $I_{uH} \approx 23\%$) was simulated at $L_f/B=0$, as shown in Figure 2. The wind direction was fixed at 0° , with the incident wind normal to the model surface.

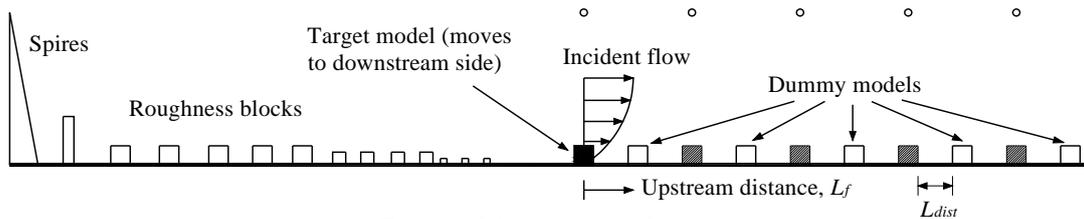


Figure 1. Schematic of wind test

Table 1. Summary of wind tunnel tests

Area density	No. of meas. point	Meas. range	Block dist.	Arrangement
6% (6.25%)	6	0B ~ 48B	3B	
11% (11.1%)	9	0B ~ 54B	2B	
16%	9	0B ~ 50B	1.5B	
25%	6	0B ~ 48B	1B	
44% (44.4%)	9	0B ~ 54B	0.5B	
0%	1	-	-	-

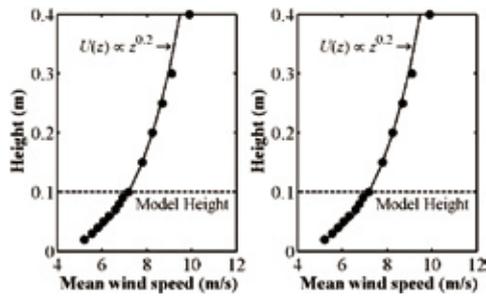


Figure 2. Incident flow condition

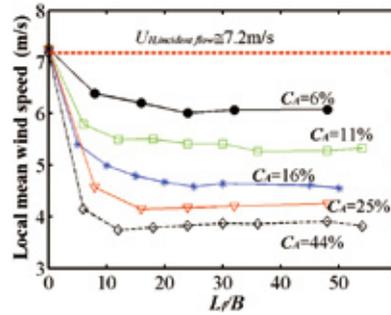


Figure 3. Variation of local mean wind speed $U_{H,local}$

3. Results of wind tunnel test

After pressure measurements, the local top wind speeds were measured at each measurement point for all area densities. Figure 3 shows the variation of local mean wind speed $U_{H,local}$ measured at model height for various area densities C_A . Generally, local mean wind speeds decrease with increasing area density, and show almost constant values after $L_p/B=15$ regardless of area density. Using the mean wind speeds in Figure 3, two normalization methods were adopted for the wind pressure coefficients. In the first, the top wind speed measured at the first measurement point was used (Eq. (1a)), and in the other, the local top wind speed measured at each measurement point was used (Eq. (1b)).

$$C_p = \frac{P - P_{static,local}}{0.5\rho U_{H,incident\ flow}^2} \quad (1a); \quad C_{p,local} = \frac{P - P_{static,local}}{0.5\rho U_{H,local}^2} \quad (1b)$$

where C_p and $C_{p,local}$ = wind pressure coefficient and local wind pressure coefficient; P = wind pressure applied to model surface; $P_{static,local}$ = static pressure at each measurement point, ρ = air density and $U_{H,incident\ flow}$ and $U_{H,local}$ = top wind speed at first measurement point and local top wind speed.

3.1. Mean wind pressure coefficients

Figure 4 shows the variation of mean $C_{p,local}$ and mean C_p for mid-width center when the area density was 11% and 44%. The thick dotted line indicates an area density of 0%, i.e. an isolated model. The coefficients for the first measurement point, shown as a solid circle, are almost the same as those for an isolated model. As the target model goes to the downstream side when $C_A=11\%$, the coefficients on the windward surface decrease and those on the leeward surface and roof surfaces increase. As the area density becomes higher ($C_A=44\%$), the local mean wind pressure coefficients become almost constant on all surfaces, showing negative values ranging from -0.5 to -1.0. The difference and variation trend among measurement points becomes more obscure as the area density increases, and negative values on the windward surface are first observed at an area density of 16%. When wind pressures are normalized by the velocity pressure at the first measurement point, the mean wind pressure coefficient, mean C_p , increases drastically, showing very small values ranging from -0.25 to 0.

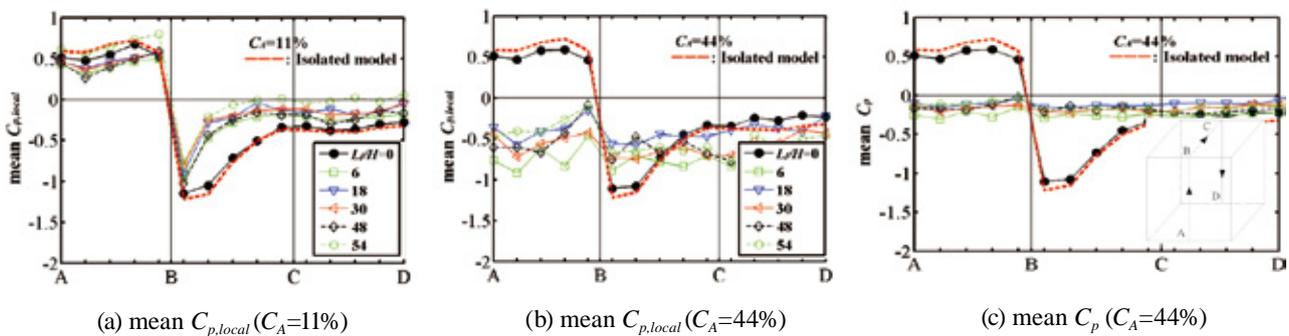


Figure 4. Variation of mean $C_{p,local}$ and mean C_p for mid-width center

3.2. Fluctuating wind pressure coefficients

Figure 5 shows the variation of rms $C_{p,local}$ when area density is 6% and 44%, and rms C_p for 44% for various L_p/B

B. Although when the area density is low ($C_A=6\%$), the rms $C_{p,local}$ s are almost the same as for the isolated model except at the windward corners, when the area density increases,

the rms $C_{p,local}$ s become larger than that of the isolated model after the second measurement point. Note that when area density is 6%, the largest values are observed at the windward corner on the roof for the mid-width center, but when area density increases, the largest values appear on

the windward surface at mid-width center. In case of Figure 5(c), which is normalized by the velocity pressure at the first measurement point, all the rms C_p s are smaller than that of the isolated model except at the windward corner on the side surface at the first measurement point.

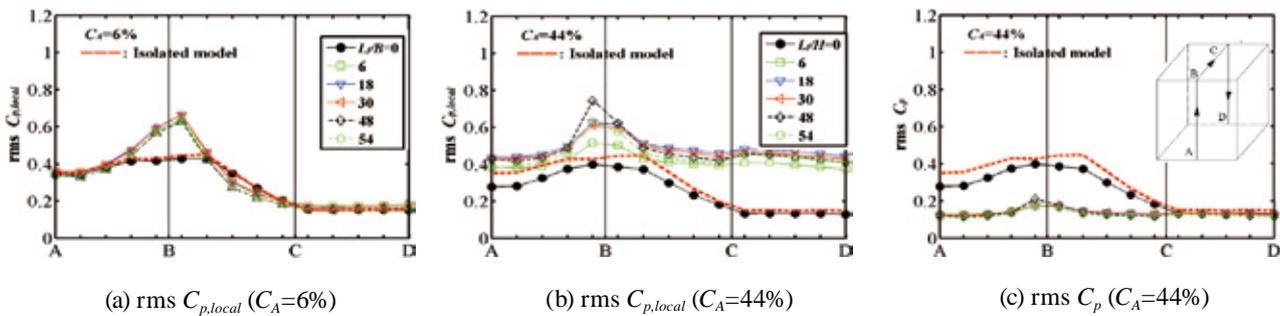


Figure 5. Variation of rms $C_{p,local}$ and rms C_p for mid-width center

3.3 Peak wind pressure coefficients

The largest and smallest values were selected from among the 125 pressure taps as peak wind pressure coefficients, and the variation of peak wind pressure coefficients is shown in Figure 6. The max $C_{p,local}$ increases greatly with increasing area density. At relatively high area densities, in the present work higher than 16%, the value of max $C_{p,local}$ s shows almost twice that of the isolated model. Note that when area densities are relatively high, there seems to be little difference in max $C_{p,local}$ s and the max $C_{p,local}$ s becomes constant immediately after $L_f/B=15$. The min $C_{p,local}$ s are generally smaller than that of the isolated model, but the differences among area densities are not as significant as the max $C_{p,local}$. Although the min $C_{p,local}$ s vary little with upstream distance, it seems that the variation becomes constant immediately after $L_f/B=15$ such as max $C_{p,local}$.

4. Conclusion

The proximity effects are identified to be important in determining wind induced pressures. These proximity effects increase with area density and cannot be adequately compensated for by the model test on the isolated model. Because of the presence of surrounding buildings, as the target model moves to the downstream side, the wind pressures ($P-P_{static,local}$) decrease, and the local top wind speed also decreases. However, the decreasing ratio of the square of wind speeds (i.e. $0.5\rho U_{H,local}^2$) is more significant than that of the wind pressures, giving much larger local peak

wind pressure coefficients. In the present work, max $C_{p,local}$ s greatly increase, showing almost the same absolute values as the min $C_{p,local}$ s for high area densities. Based on the results, it can be said that the effects of surrounding buildings should be considered within $L_f/B=15$.

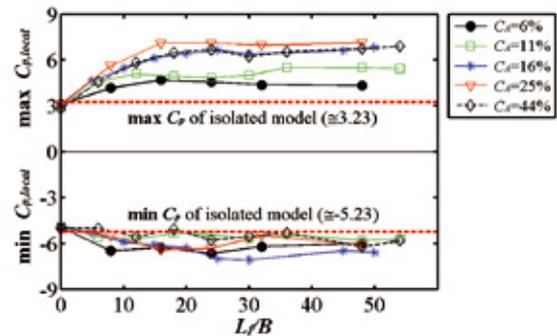


Figure 6. Variation of peak $C_{p,local}$

5. References

- [1] Architectural Institution of Japan (2004), Recommendations for Loads on Buildings (2004), Architectural Institution of Japan, Tokyo
- [2] Sun, Y., Tamura, Y., Quan, Y., Matsui, M., 2008, The interference effect of surrounding roughness on wind pressures of rectangular prism, 6th International Colloquium on Bluff-Body Aerodynamics and its Application, pp. 1-10.

Wind pressures on multi-level flat roofs of medium-rise buildings

Jinxin Cao, Akihito Yoshida, Yukio Tamura

1 INTRODUCTION

Multi-level flat roofs are widely used in building structures such as public multi-storied buildings, large scale apartments, and industrial buildings. For structural design, the main concern for buildings with these roof types is snow drift, while negative wind pressure can be directly referred to present design standards for simple flat roofs (Stathopoulos and Luchian, 1990). Therefore, very few standards or previous researches have focused on wind pressures on such roofs. However, recently, flat roofs as well as multi-level flat ones, have been providing excellent places for setting green roofing systems and other energy saving systems. In order to evaluate the wind resistant performance of such rooftop systems, wind pressure characteristics of multi-level flat roofs with different geometries need to be examined as a prerequisite study.

Positive as well as negative wind pressures on multi-level flat roofs of medium-rise buildings are mainly discussed while most previous studies (Stathopoulos and Luchian, 1990; Kikuchi, etc, 2009) have focused on negative values. Peak and area-averaged positive pressure coefficients are evaluated and the effects of step geometry and wind direction are considered. Comparison is made between simple flat roofs and multi-level flat roofs and between

experimental results and related previous ones and standards as well.

2 EXPERIMENTAL CONDITIONS

Wind tunnel experiments were carried out in a Boundary Layer Wind Tunnel in Tokyo Polytechnic University, Japan. Open terrain characteristics were simulated and velocity scale 1/4 was adopted. The power law exponent α of mean wind speed was 0.19 and the corresponding turbulence intensity at the roof height was 20%.

The height of the prototype building was adopted as 30m and comprised 9 stories of 3.3m. The geometry scale was 1:67 (Fig 1), which was decided as relatively large considering future study on small-sized roof-top systems and the limitation of blockage ratio.

Pressure taps on the roof in this study were distributed uniformly rather than concentrated at corners and edges to meet the requirements for different roof configurations. 324 pressure taps were installed at 25mm spacing. Wind pressure measurements were conducted with a sampling frequency of 781Hz and a sampling period 36 seconds for each sample, corresponding to 46Hz and 10 minutes in full scale. Each test case was sampled 10 times. Wind direction was changed at intervals of 5 degrees for each test case.

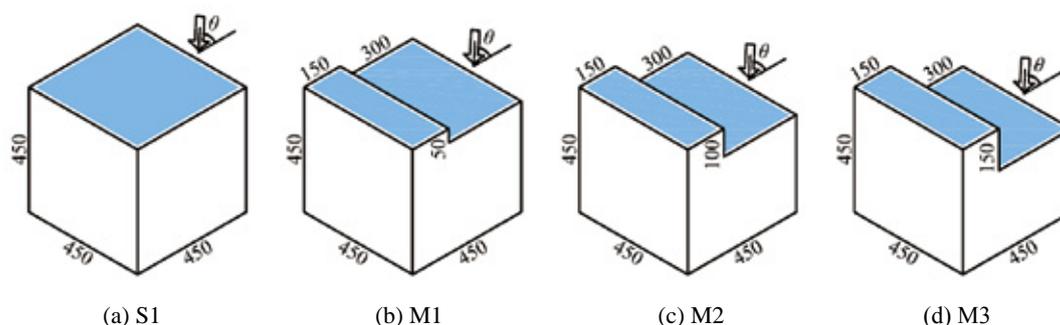


Fig 1. Building model and coordinate system (unit:mm)

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Data processing

The original time series of wind pressure coefficients at a certain point i $C_{p,ori}(i,t)$ can be calculated as $C_{p,ori}(i,t) = p(i,t)/q_H$, where $p(i,t)$ and q_H are the measured wind pressure

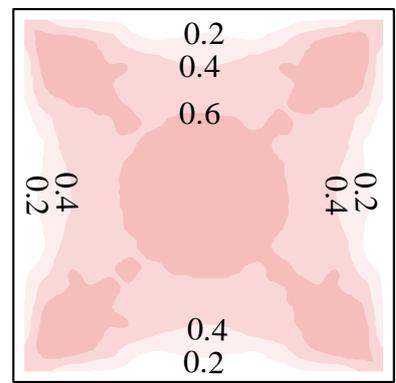
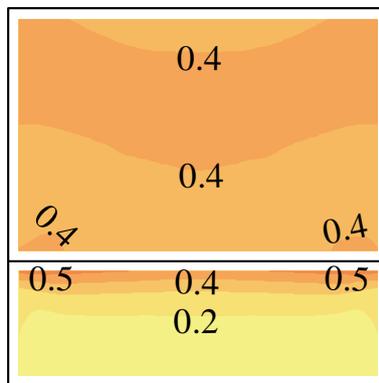
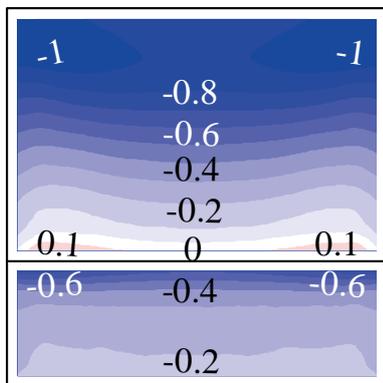
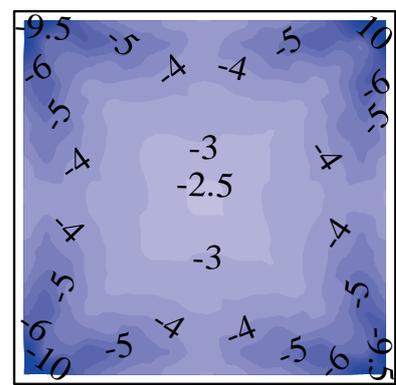
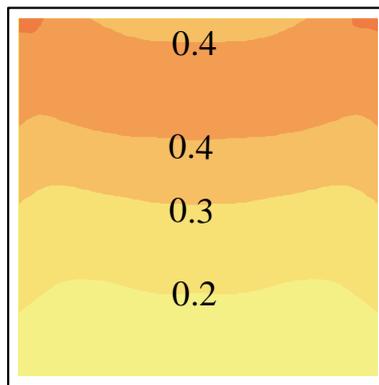
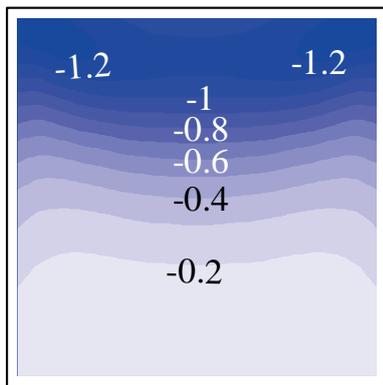
and reference velocity pressure at the top of the roof. An “Equivalent time averaging” method (Holmes, 2004) was used to determine the wind load acting on a finite area from point pressure. 0.005s corresponding to 0.08s in full scale was used for time averaging, from $C_{p,ori}(i,t)$ to $C_p(i,t)$.

Mean and fluctuating pressure coefficients, \bar{C}_p and C'_p , were statically acquired and the peak pressure coefficients including positive \bar{C}_p and negative \bar{C}_p were calculated by the "Cook-Mayne method" using 10 samples for each case.

3.2 Mean and fluctuating pressure coefficients

Figure 2(a) and (b) showed mean and fluctuating pressure coefficients of Model R1 and M1, respectively, for a wind direction of 0 degrees. As expected, both the absolute mean and fluctuating values for R1 decreased from the windward

to the leeward edge, and all the mean values over the whole roof were negative. However, for model M1 with one step, positive mean values occurred near the intersection between the two levels. Moreover, the magnitudes of fluctuating values in this region were comparable with those for the windward edge. This indicated that the wind pressure near the intersection between the two levels for a multi-level flat roof was strongly affected by the step and the quasi-steady assumption was no longer applicable in such regions.



(a) S1

(b) M1

Fig 2. \bar{C}_p (Upper) and C'_p (Lower) ($\theta=0^\circ$)

Fig 3. \bar{C}_p (Upper) and \bar{C}_p (Lower) for S1

3.3 Local peak pressure coefficients

From the design viewpoint, one is interested in the most unfavorable values of local peak pressure coefficients from the results for all the directions. Results including minimum negative and maximum positive peak pressure coefficients for Model S1 are shown in Figure 3. The most unfavorable negative value occurred at the corner of the simple flat roof, corresponding to the wind direction near 45 degrees, due to a conical vortex; and the peak positive value on the simple flat roof was extremely low.

Results for the two-level roof with one step are shown

in Figure 4. Taking model M1 as an example (Fig 4(a)), the smallest negative peak pressure coefficient was recorded at the corner of the high-roof section and the value is comparable in magnitude with that for the simple flat roof. High suction pressure coefficients, which were a little smaller than those for the high roof section, were also seen at the corner of the low roof section and the edge area near the intersection as well. The most unfavorable positive pressure coefficients were measured at the intersection between two levels as a result of flow separation, with the corresponding wind direction of 0 degrees for multi-level cases.

Zone designations for two-level flat roofs with three different step heights are shown to demonstrate the effect of step height on local peak pressure coefficients. The idea for dividing the zones was similar to the principle used in the present wind load standards.

For negative pressures, a simple flat roof of a 30m-high building can be divided into three parts, indicating corner, edge and interior (ASCE7-05, 2005). Adopting the same zone designation for the simple flat roof in the present study, the peak pressure coefficients in the three zones were ① $|C_p| \geq 6$; ② $5 \leq |\check{C}_p| < 6$ and ③ $|\check{C}_p| < 5$, respectively. Following such partition of peak pressure coefficients, the high roof area for two-level flat roofs can be similarly divided into three parts:

R1 (corner), R2 (outer edge) and R3 (inner edge and interior). For the low roof, R2 and R3 zones are similar to those of the high roof while two new zones, R4 and R5, were used for the outer corner and inner corner areas, respectively, instead of R1. For positive pressures, since ASCE7-05 was the only code related to this roof configuration, related contents were referred, although the building height in this study was beyond the scope of application of ASCE7-05. Two zones, Z2 and Z1, were adopted to represent high positive pressure region at the intersection border between the two levels and low positive pressure region at other parts of the roof. The width of zone Z2 was 1.5 times of step height.

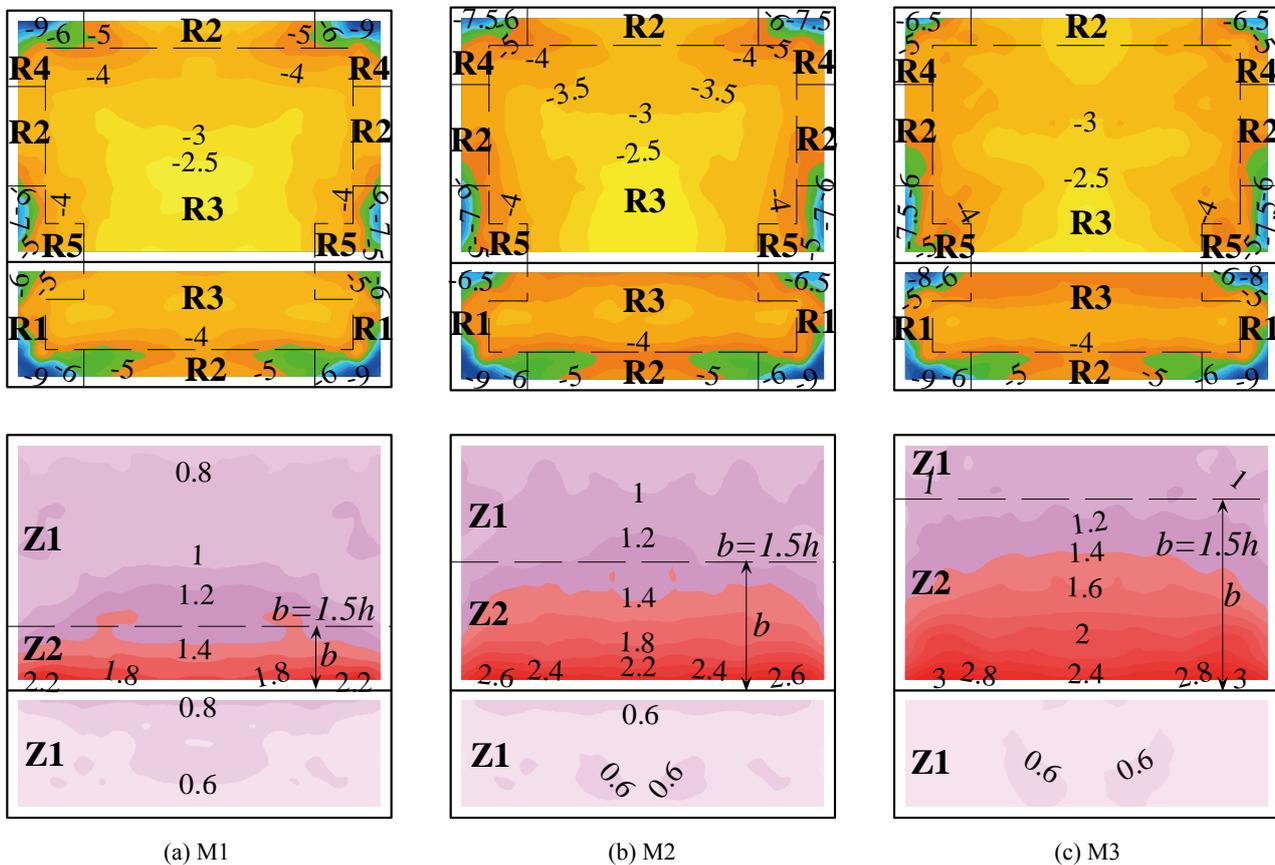


Fig 4. Local peak pressure coefficients for two-level flat roofs and zone designations (\check{C}_p (Upper) and \bar{C}_p (Lower))

The effects of step height on peak pressure coefficients in each zone discussed above are shown in Figure 5. For negative values, there is no obvious difference for zone R1 for the three models. For zone R4, the values decrease with increase in step height, from -9.5 to -6.8. It is interesting that in zone R5, the values remain almost constant despite the change in step height, and the value is around -7.5. For positive values, the maximum values in zone 2 increase significantly from 2.3 to 3.2 with increase in step height from

one story to three stories. The variation between the two unfavorable values indicates that the design positive pressure coefficients in this zone are highly dependent on the step height. The values in zone 1 remain almost constant, which reflect the reasonableness of the zone designation for positive pressures on this roof configuration. Similar results of maximum positive peak pressure coefficients were reported by Kikuchi, et al (2009), but the values were a bit lower since an averaging time of 1s was adopted in their study.

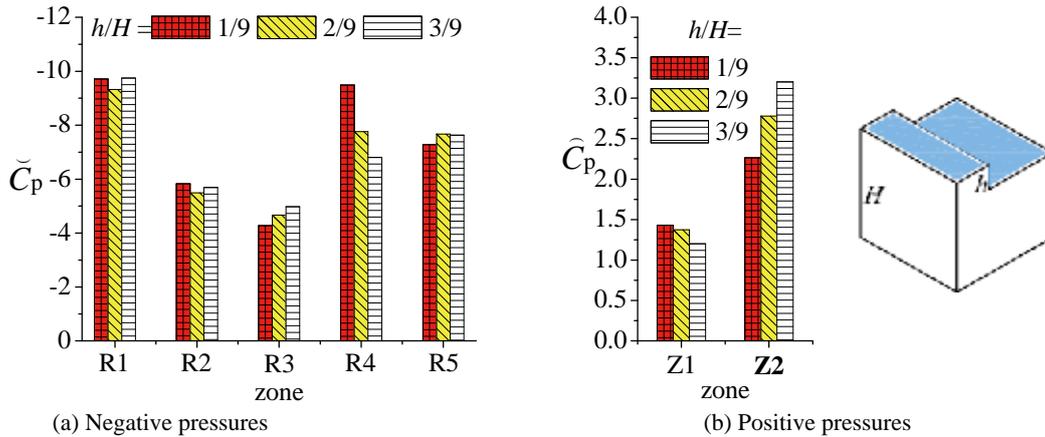


Fig 5. Effect of step height on peak pressure coefficients

3.4 Comparison with ASCE7-05

For comparison with ASCE7-05, the area-averaged pressure coefficients were calculated using 1-second moving averaging time, and pressure coefficients determined by mean wind speed for 10-minute duration should be transformed to the ones normalized by 3-second gust wind

speed by dividing by a factor of 2.02. Comparison (Fig. 6) indicates since the positive values increased with increase in step height, the present values agreed quite well with the design values when h/H was less than $2/9$ and exceeded the design values when h/H was larger.

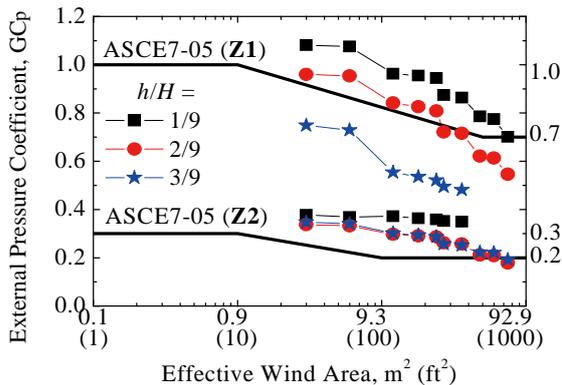
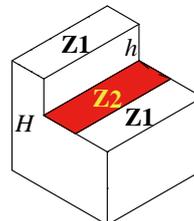


Fig 6. Comparison with ASCE7-05



Notes:

	h	b
ASCE	$\geq 3m$	$1.5h$
Present	3.3m	5m
	6.7m	10m
	10m	15m

4 CONCLUDING REMARKS

Local peak pressure coefficients on multi-level flat roofs with different step configurations have been mainly investigated. The minimum value of negative pressures on the windward high corner of a stepped roof is similar to the value for a simple flat roof, while negative pressures on the low roofs and positive values were highly dependent on step geometry. Five zones for negative pressures and two zones for positive ones have been identified to demonstrate the effects of step height and configuration. Comparison of area-averaged pressure coefficients with ASCE7-05 indicates that absolute negative values in the high corner with small tributary areas in the present study are larger than those in related contents in the code, while negative values in other zones and positive values agree closely with the code.

REFERENCES

- [1] ASCE, 2005, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 7-05, ASCE.
- [2] Holmes, John. D., 2001, Wind loading of structures. Spon Press, London.
- [3] Kikuchi, H., etc, 1994, Study on correlation between fluctuating pressures and approaching wind by using proper orthogonal decomposition, in: Proceedings of the 13th Wind engineering symposium, 167-172, in Japanese.
- [4] Kikuchi, H., etc, 2009, Peak wind pressure distributions on buildings featuring a setback, in: Proceedings of the AIJ conference 193-194. Sendai, in Japanese.
- [5] Stathopoulos, T., Luchian, H. D., 1990, Wind pressures on buildings with multi-level roofs, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 36, 1299-1308.

お知らせ

The 8th International Advanced School on Wind Engineering

(Course A: Structural Wind Engineering)

開催日：2011年11月14日～16日

会場：Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China

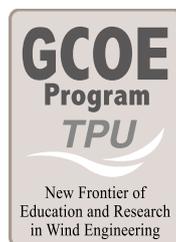
(Course B: Environmental Wind Engineering)

開催日：2011年11月16日～18日

会場：Hong Kong University of Science & Technology, Hong Kong, China

URL:<http://www.cse.polyu.edu.hk/ias8th/>

問い合わせ先：東京工芸大学工学研究科 グローバル COE プログラム 事務局
〒243-0297 神奈川県厚木市飯山1583
Email: gcoe_office@arch.t-kougei.ac.jp
Tel/Fax: 046-242-9658
URL: <http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/>



グローバルCOEプログラム『風工学・教育研究のニューフロンティア』メンバー 工学研究科 建築学専攻

田村 幸雄 教授(拠点リーダー)	教育研究拠点形成の統括	yukio@arch.t-kougei.ac.jp
Ahsan Kareem 教授	EVO構築に関連する技術開発	kareem@nd.edu
大場 正昭 教授	通風・換気設計法の研究開発	ohba@arch.t-kougei.ac.jp
義江龍一郎 教授	市街地の熱・空気汚染予測・制御	yoshie@arch.t-kougei.ac.jp
水谷 国男 教授	自然通風・放射涼房システムの開発	mizutani@arch.t-kougei.ac.jp
松井 正宏 教授	工学的竜巻シミュレータの開発	matsui@arch.t-kougei.ac.jp
吉田 昭仁 准教授	風応答モニタリング・ネットワークの構築	yoshida@arch.t-kougei.ac.jp
森田 芳朗 准教授	各国の対風構工法の調査研究	morita@arch.t-kougei.ac.jp
大熊 武司 客員教授	耐風設計法の構築	ohkuma@kanagawa-u.ac.jp

東京工芸大学工学研究科 風工学研究センター

〒243-0297 神奈川県厚木市飯山1583

TEL & FAX : 046-242-9658 URL : <http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/>