

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月13日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360222

研究課題名（和文） 複数ファン制御乱流風洞の高性能化研究

研究課題名（英文） Investigation on higher performance of computer controlled multiple fan wind tunnel

研究代表者

神田 順 (KANDA JUN)

日本大学・理工学部・特任教授

研究者番号：80134477

研究成果の概要（和文）：複数のファンを独立に制御するアクティブ型の、複数ファン風洞による風速と風向の変化を伴う非定常風の模擬気流の作成と、それらの気流中における基本断面への非定常作用の測定手法の確立を行った。さらに、実現象に則した非定常気流として、気象庁の『竜巻等の突風データベース』等の統計的データと理論式から、竜巻を模擬した非定常気流を風速と風向の変化の組み合わせから数パターン作成し、その気流下における基本断面への非定常作用について考察を行った。

研究成果の概要（英文）：By individually controlling each fan, an active type wind tunnel, a multiple-fan wind tunnel, is developed to successfully simulate non-stationary wind flows due to wind speed and direction changes. A procedure to investigate non-stationary effects on surface pressures on prism cylinder models immersed in such wind flow is established. Further, in order to reproduce the extremely non-stationary phenomenon induced by tornado-like wind flow based on tornado/downburst database of Japan Meteorology Agency is applied to form several typical patterns for the examination of non-stationary effects on prism cylinder models.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	11,100,000	3,330,000	14,430,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2012年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：複数ファン風洞、非定常気流、非定常作用、風速変化、風向変化、竜巻

1. 研究開始当初の背景

(1) 境界層乱流風洞は1つの大きな送風機によって作られた風を風路内に設けたメッシュ、スパイヤー、ソウ、ラフネスブロック等により、平均風速や乱れの強さの鉛直分布を自然風と同じ様に調整する事で、実際に計測された風速変動をモデル化したスペクト

ル特性を有する定常な自然風を模擬できる風洞として、今日の耐風設計又は建築環境設計分野に大きく貢献をしてきた。しかしながら、この境界層乱流風洞は定常気流を再現するもので、非定常気流や風向変動を再現することはできない。それらの風荷重への影響については具体的に風洞実験により検討した

研究例は極めて少ない。

(2) 他方で、風洞自体を従来のような1つの大きな送風機と様々な装置を用いて実験を行うパッシブ型ではなく、1つの風洞内にコンピューターで個々の数値制御が可能な小型送風機を多数設置したアクティブ型風洞の実験的研究も行われている。この先駆的なアクティブ制御型のマルチファン型風洞により、実測された流速の瞬間波形を風洞内に作りだすことに成功している。しかし、それらの研究は自然風の模擬に関する研究が主であり、風向変動が建物にどのような影響を及ぼすかについてまでは検討されていない。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、1列6個であった複数ファン風洞を3列18個に拡大することで、実際にどのような気流を作成出来るのか、そのファン回転数と風速変化、周波数範囲と風速表現、風向変化角度と風向変化時間、測定洞内の風速・風向分布、乱流的な風速のスペクトル特性とコヒーレンス性状の把握を行う。

(2) さらに従来の境界層風洞とは違って、風速・風向が変化する気流中での風圧測定方法を確立する。

(3) 竜巻を想定した風速や風向の変化を伴う非定常風の作成と、作成した気流が基本断面へ与える非定常作用を把握することを試みる。

3. 研究の方法

(1) 複数ファン風洞（測定洞の縦×横×長さは600×600×3600、各ファンの回転数は0～3000r/minの範囲）の各小型ファンに入力する電圧を任意に変化させて気流を作成することで、最大風向角度の気流を作成可能な入力電圧のバランスを把握する。定常流による各点での風速・風向を測定する。

(2) 小型ファンをコンピューター上で独立に制御することで、小型ファン同士が生み出す気流の関係をスタディし、風洞内に発生する非定常な風向変動を明確に把握する。また、気流の可視化実験を通して各ファンが生み出す気流の時系列挙動を確認し、非定常な風向変動を検証する。さらに、基礎的な風圧模型を用いて、非定常な風向変動が建物風圧特性に与える影響について検討する。

(3) 気象庁で公開している『竜巻等の突風データベース』および既往の理論式より算出した風速・風向の短時間の変化を複数ファン風洞で模擬し、風圧の測定も行う。パラメータとして風圧模型の設置角度も変化させることで、竜巻の構造物に対する進入角度すなわち、竜巻との位置関係と非定常作用の影響とに着目した評価を行う。

4. 研究成果

(1) 複数ファン風洞の基本性能

風向変動を伴う気流を作成するには、複数ファンの上端と下端のファンをそれぞれ正回転・逆回転させることで風向を変化させる。その際の回転数のバランスを調整することで、測定点で安定した風向の変化を可能にする。

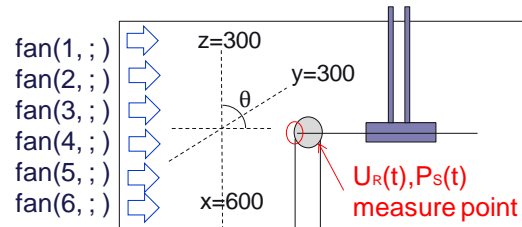


Fig. 1 測定点位置と気流作成

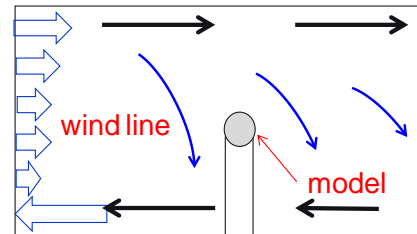


Fig. 2 ファン制御による風向変化のメカニズム

測定点は $x=600, y=300, z=300$ で、後述する作成した気流中で最も安定して風向が変化する地点を基本とする。測定点の位置と風向変化のメカニズムを Fig. 1 および 2 に示す。

(2) 気流の特性

各ファンを独立制御して風向を変化させるには入力する電圧を短時間で制御する必要があるが、ファンの性能上、およそ 1s 程度が限度である。又、気流を定常状態から大きく風向変化させるには、風洞上下端どちらかのファンを大きく逆回転させる必要がある為に、気流の風速が低下してしまう。本研究では最大風速 5 割程度の風速変化、風向変化 20° 程度の気流の作成に成功した。

本研究で新たに作成した気流は、風速・風向が変化しない定常流が st1, st2 の 2type と、風速上昇のみが st3 の 1type、風向変化は単純風向変化が st4, st5 の 2type、風速と風向の同時変化が st6, st7 の 2type、折り返し風向変化の st8, st9 の 2type の計 9type である。st1, 2 は st3, 6, 7 の気流変化前後の風速に対応している。作成した気流の一覧を Table. 1 に示す。気流の変化時間は st3-st7 が約 1s、st8, st9 は約 2s である。

Table. 1 実験気流一覧

stream type	ΔU (m/s)	ΔD (°)	Δt (s)	remarks
st.1	-	-	-	stationary (0.9m/s)
st.2	-	-	-	stationary (2.18m/s)
st.3	1.23	-	1	velocity only
st.4	-	23.38	1	direction only
st.5	-	24.72	1	direction only (reverse)
st.6	1.53	21.95	1	vel & dir
st.7	1.16	18.81	1	vel & dir (reverse)
st.8	-	21.01	2	direction only
st.9	-	21.78	2	direction only (reverse)

風向の変化は-が下向き、+が上向きで順番が逆の場合も想定している。又、st3-st9の非定常気流については、ファン1,3列目は2列目の6割の入力電圧としている。作成した気流の内、例としてst4及びst8の風速・風向をFig.3に示す。

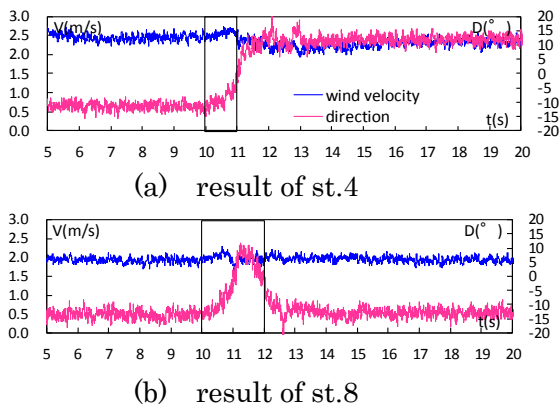


Fig. 3 実験気流例

(3) 風圧模型設置点周辺での気流分布

風速測定点、風圧模型周辺での気流分布との計測を行う為に、模型設置位置を中心に25mm 間隔の計 25 点で風速・風向の測定を行う。計測地点の模型・測定洞内との関係をFig.4に、st.4による計測結果をベクター・コンター図で示した物をFig.5に示す。

計測した結果、風速は0.1m/s(3%)程度以内の範囲に収まっており、風向もほぼ一樣に変化している事が分かる。この事から、模型周辺では風速・風向共に一樣に変化している状態を作り出すことができたと考えられる。

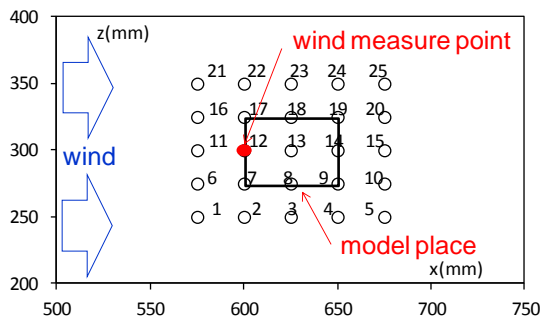


Fig. 4 模型設置個所周辺の気流測定点

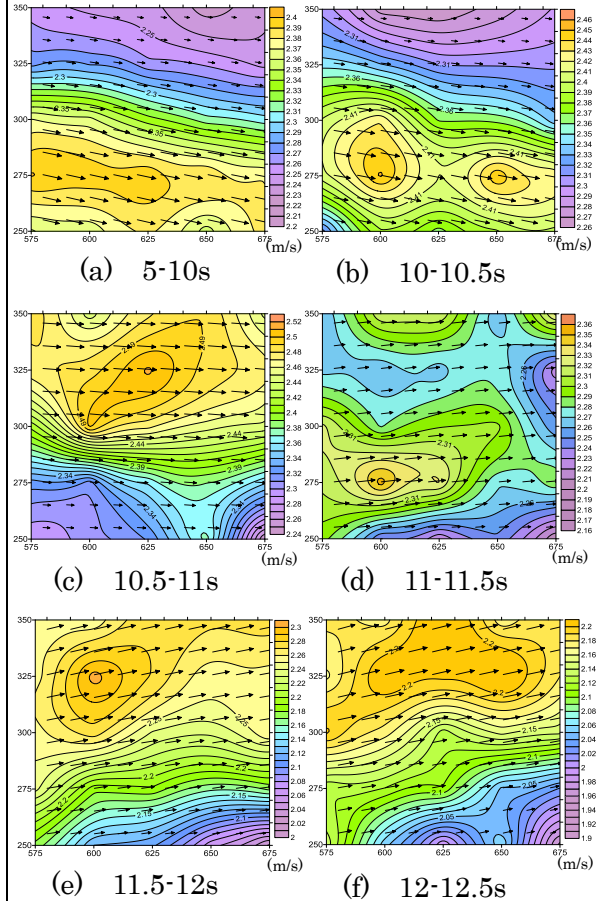


Fig. 5 st4 の模型周辺の風速・風向分布

(4) パワースペクトルおよびココヒーレンス特性の模擬

本風洞のパワースペクトル模擬の測定結果についての一例をFig.6を示す。

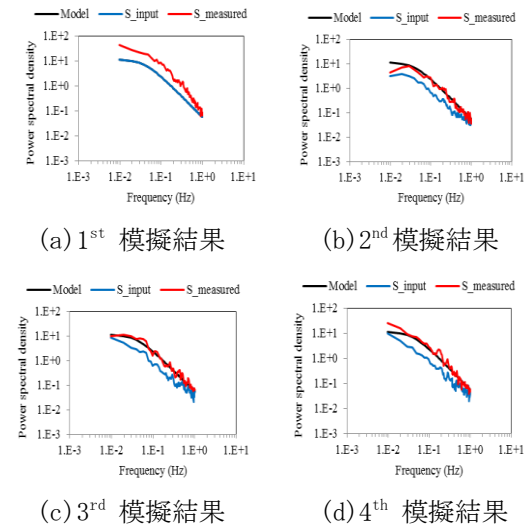


Fig. 6 パワースペクトル収束状況

つぎに、2点間のココヒーレンスの制御の結果をFig.7に示す。

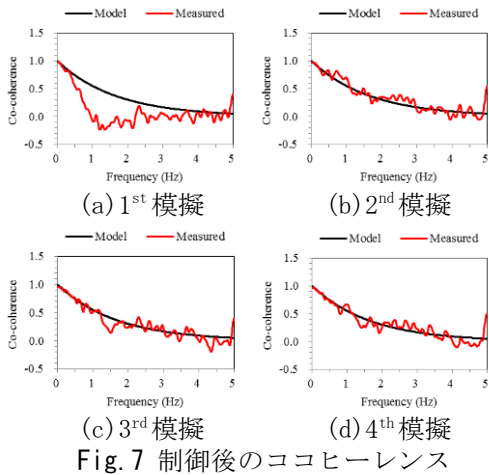


Fig. 7 制御後のコヒーレンス

(5) 風圧測定手法・円柱の例

作成した実験気流が実際に模型に対して一様に作用しているかを確認する為に、円柱模型による風圧実験を行う。円柱模型の直径は50mm、風圧測定点は16点あるので、模型を11.25°回転させる事により、計32点での風圧変化を測定する。

本実験では一般的な風圧測定実験とは違い、風速、風向が測定胴の同一断面内で圧力が異なる為に、x, z 軸を同じくする測定胴壁面での圧力を基準静圧として測定圧力より引く事で、計測値から風速の変化の影響を除いた圧力変動を計測する。これにより風向変化のみによる圧力の変動を測定することが可能となる。

st. 3 による風圧係数の気流変化前後の平均値と時刻歴変化の様子を Fig. 8 に、st. 4 によるものを Fig. 9 に示す。風速上昇のみの

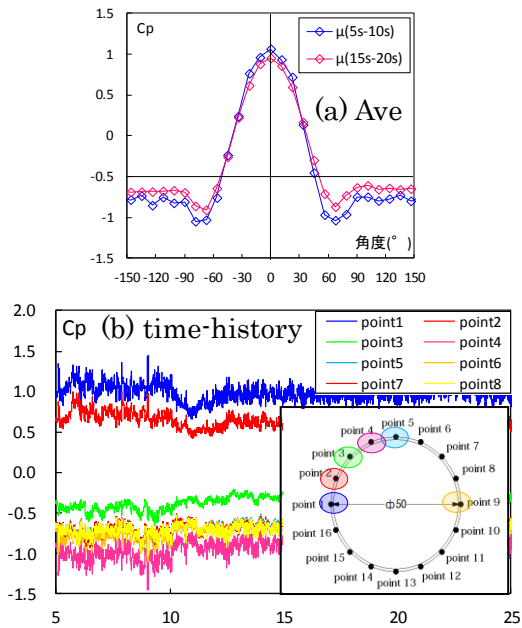


Fig. 8 気流 3 による風圧係数

st. 3 及び風向変化のみの st. 4 の結果に着目すると、平均風圧係数では気流変化前後の風圧係数分布の違いがはっきりしており、基準静圧を壁面で測定することにより、気流変化後に風圧係数が目立った変化をしていない事から、風速上昇による風圧係数への影響が打ち消されている事が分かる。

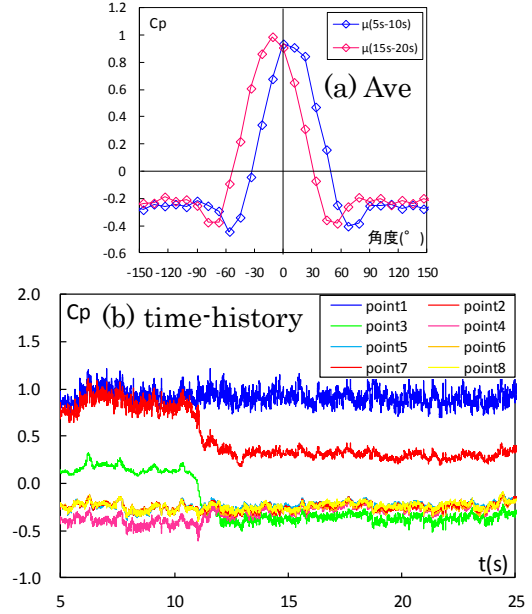


Fig. 9 気流 4 による風圧係数

(6) 角柱模型による風圧測定実験

円柱模型による実験により、風圧係数への風速の変化を取り除く事が可能である事や、実験気流の風向変化による影響が明確に計測できる事が分かったので、同様の気流の下、角柱模型による風圧実験を行う。

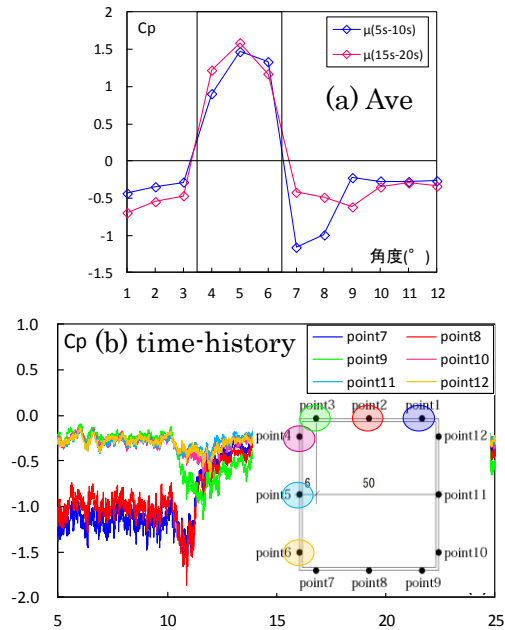


Fig. 10 模型角度 5° 気流 5 による風圧係数

設置する角柱模型の角度は $0 \sim 45^\circ$ まで 5° 毎とし、計 90 通りの測定を行う。一般的に正方形断面では風向角 15° で側面最大負圧 -1.2 を取る事が知られている。そこで、実験結果から、風向が短時間で変化することで瞬間的に大きな負圧を計測した例の、気流変化前後の平均値と時刻歴変化の様子を Fig. 10 に示す。また該当する結果一覧を Table. 2 に示す。

又、気流は約 20° の風向変化をしているので、模型の設置角度を考慮すると各時刻歴風圧係数を連続的に重ね合わせる事で、およそ 110° の風向変化が生じた場合の風圧係数の推移が把握できる。その概要を Fig. 11 に、風圧係数の推移を Fig. 12 に示す。

Table. 2 大きな負圧の組み合わせ

model angle	st.
0°	6
5°	5
10°	5,6,7,8
15°	5,7,9
20°	9

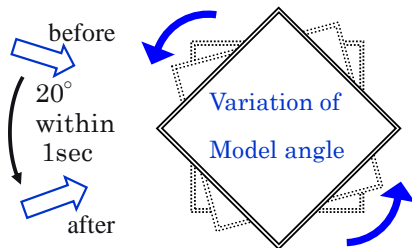


Fig. 11 連続的な風圧係数の変化のための模型設置

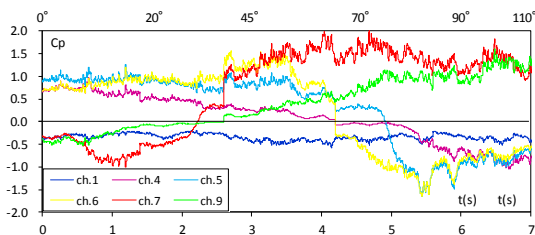


Fig. 12 各測定点の風圧係数の角度毎の推移

(7) 風力係数の算出

風圧実験により得られた風圧力から、角柱模型の風力係数を算出する。この場合、静圧が打ち消しあうため、風力 F_X , F_Y は、基準とする静圧や風速にとらわれずに評価す

ることができる。又、一般に風力係数は風方向に対して算出するが、本研究では非定常に風向が変化することから、風圧模型を軸に x 方向風力、 y 方向風力という形で算出する。模型の軸については Fig. 13 に示す。

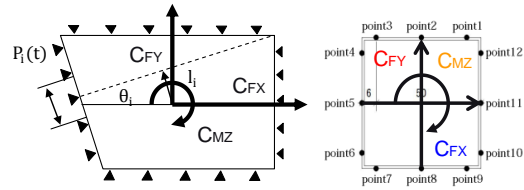


Fig. 13 x, y 方向風力の座標

模型設置角度による風力係数の違いについて st. 4 (風向のみ変化) を例に Fig. 14 に示す。実験結果について、短時間で風向が変化することで、 x, y 方向風力係数やねじりモーメントにオーバーシュート現象が発生するか検証を行う。この場合のオーバーシュート現象とは気流の変化直前と直後に大きな値が生じている場合とする。

本実験では気流変化を約 1s としたが、明確な風力のオーバーシュート現象が確認できた例は稀であり、気流変化前後で $CF_y \cdot CM_z$ のオーバーシュート現象を確認した例を Fig. 15 に、風向変化中に CF_y の値が瞬間的に変動する例を Fig. 16 に示す。算出した x, y 方向風力を風圧係数の際と同様に重ね合わせる事で求めた風力係数の角度毎の推移を Fig. 17 に示す

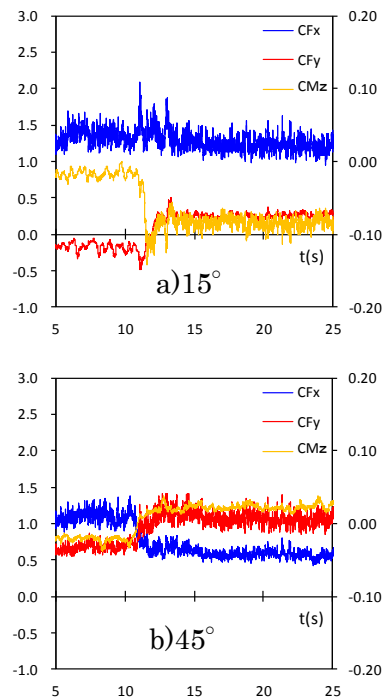


Fig. 14 気流 4 の角度毎の風力係数

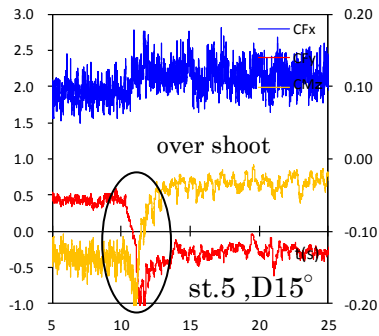


Fig. 15 オーバーシュート事例

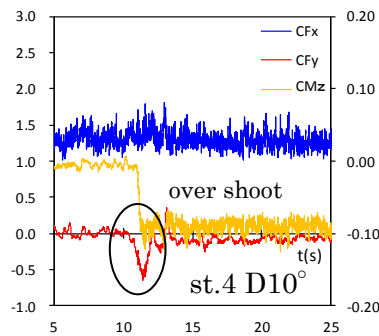


Fig. 16 風向変化による作用

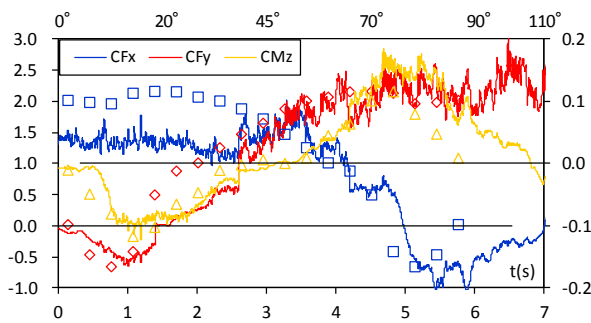


Fig. 17 風力係数の角度毎の推移

(8)まとめ

本研究では複数ファン風洞により短時間で風速・風向が変化する気流の作成を試み、9種類の気流を作成し、それらの気流下における基本断面での風圧実験を行った。

その結果、作成した気流が模型に対して一様に作用している事を確認し、角柱模型において最大負圧を与える15°をはさむ風向の変化の時に-1.2を上回る最大負圧が計測され、また風力係数のオーバーシュートも発生しやすい事が示唆された。

又、作成した気流による計測と模型の設置角度から、風向が110°変化する場合の風圧係数と風力係数の連続的な変化を把握できる可能性を示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計7件)

① 寺井亮、神田順：複数ファン風洞による非定常な風向変動が2次元角柱の風圧特性に与える影響に関する研究-その3円柱と角柱の風圧特性と気流の最適化、日本建築学会2010年度大会(北陸)。

② 寺井亮、神田順：風向変化を考慮した風の建築物に対する非定常作用に関する基礎的研究、日本建築学会2011年度大会(関東)。

③ 帯刀良之、神田順：日本における建築設計用仮想竜巻モデルの提案、2010年度日本建築学会関東支部研究発表会。

④ 帯刀良之、神田順：被害分布と強風域との整合性を考慮した建築設計用仮想竜巻モデルの提案、日本建築学会2011年度大会(関東)。

⑤ Ryo Terai, Jun Kanda: Non-stationary Wind Direction Simulation in Wind Tunnel with Computer-controlled Multiple Fans, ICWE13, Amsterdam.

⑥ Yoshiyuki Tatewaki, Jun Kanda, Hitomisu Kikitsu, Yuan-Lung Lo: Wind Pressure Characteristics of Square Prism under Non-stationary Wind in Multiple Fan Wind Tunnel, BBAA7, Shanghai.

⑦ 帯刀良之、神田順、喜々津仁密：複数ファン風洞による竜巻特有の大風向変化の矩形断面への非定常作用の推定に関する実験的研究、日本建築学会2012年度大会(東海)

6. 研究組織

(1)研究代表者

神田 順 (KANDA JUN)
日本大学・理工学部・特任教授
研究者番号：80134477

(2)研究分担者

喜々津仁密 (KIKITU HITOMITU)
国土交通省総合技術政策研究センター
研究者番号：10370694

清家 剛 (SEIKE TSUYOSHI)
東京大学新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻
研究者番号：60236065