様式C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成２０　年４　月１　日現在

研究種目：基盤研究（C）
研究期間：２００７年度～２００８年度
課題番号：１９５６０５８３
研究課題名（和文）突風などのＮｏｎ－ｓｔａｔｉｏｎａｒｙ流れを受ける建物の風力特性

研究課題名（英文）　Wind forces on structures immersed in non-stationary gust front

研究代表者
曹　曙陽（ CAO SHUYANG ）
東京工芸大学　工学研究科　教授

研究成果の概要：
多数の送風機を有する特殊風洞を駆使し、Non-stationary 気流の代表である Downburst が有する速度特性、例えば特殊な風速鉛直プロファイルおよび気流の突然加速、を風洞内で模擬し、建物模型が Transient 気流を受ける時の風圧を計測した。風向角による高層建物模型の風圧変化を調べた。さらに、伝統的、近代的に統計手法を用い、時間領域・周波数領域における風圧特性を解析した。本研究で得られた主な結果は以下のとおりである。
加速過程における模型表面の圧力相関は普通境界層の場合に比べると非常に高い。表面圧力は普通境界層の場合により低減される。Wavelet 解析により、普通境界層と Gust Front における風圧の scalogram の差異を明らかにした。Gust front にともなう風速は高度の増加につれ一意的に増加するではないため、その特性による高層建物の後流渦構造の変化を示唆した。これから、風向角の変化による表面圧力の特性を明確すると同時に、もっと綿密に Gust Front に起因する風圧の時間空間特性を Mapping する。
この研究により構造物の耐風設計方法を完善するための基本データを提供できた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
平成１９年度	2,700,000	810,000	3,510,000
平成２０年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総　計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：Gust front、Non-stationary、建物、Wavelet

１．研究開始当初の背景
現代の構造物耐風設計方法は定常確率統計理論を基礎にして作り上げられたものである。時間的に変化する風速を平均風速成分と変動風速成分に分解し、構造物の風圧・風力へのそれぞれの影響、場合によってはさらに後流での渦発生、後流渦の乱流構造、構造物と後流渦との相互作用過程などへのそれぞれの影響を評価する。風荷重も、原則的に、変動風力が建築物に与える最大荷重効果と等価な効果を与える静的荷重を求め、これに平均風力を加えた荷重いわゆる等価静的荷

重として与える方法が採用されている。このような定常確率統計理論に基づく耐風設計方法は工学的に確立され、自然界に存在する多数の風現象による速度変動に対して風荷重を見積ることができるようになっているが、実際に風災害をもたらすほど強風の多くは定常確率理論を従わない、non-stationary gusts や transitional flow と呼ばれる特殊風速変動である。この例として、竜巻や Downburst による突然加速する気流などがある。しかし、従来型の境界層風洞を使用する場合、Non-stationary flow を模擬することが困難であるため、これらの気流を受ける構造物の風圧・風力特性はほとんど研究されておらず、理解されていない。一般的な構造物を設計する段階では、Non-stationary flow や transitional flow に対して耐風性を考慮する必要がないかもしれないが、それらの気流における構造物の風荷重を正しく理解し、できるだけ風被害が避けられるように適切な措置を取る必要があるだろう。最近、アメリカなどの国では、竜巻や Downburst などを受ける構造物の風圧・風力について、ウェーブレットなどの非定常解析手法に基づいた研究が徐々に出ており、注目されつつあるが、得られた結果は検証されておらず、実問題に応用することが困難である。突風などの Non-stationary flow における建物の風荷重を正しく理解するため、又は、開発されてきた非定常解析手法を検証しながら、新しい風荷重設計方法を提案するために、風洞内で模擬された Non-stationary 気流を受ける建物模型の風力特性を研究することが必要である。

本研究の研究代表者は風速変動の統計量ではなく、風速変動の時刻歴をそのまま再現できるアクティブ制御風洞の開発を従事してきた。最近では、この特殊風洞を用い、風速変動加速度を最大 50m/s2 まで制御できるように実現させた。その瞬間加速する気流における二次元円柱・角柱模型の空力特性を研究し、通常気流と突風中の構造物基本断面（角柱・円柱）の空力特性の差異を調べている。本研究では、いままでの研究成果を生かし、風洞計測断面において一様的に瞬間加速する気流に空間変化を持たせ、従来予想されていた Non-stationary flow 境界層の空間統計特性を持つ Non-stationary 流れを風洞内で模擬した上で建物模型の風圧・風力を研究する。空気力や圧力の時間空間相関に着目し、ウェーブレットや Hilbert など非定常解析手法 5)を用い、非定常な確率過程である風圧・風力データを解析する。更に、通常境界層乱流中における建物の空力特性と比較することにより、Non-stationary 流れを受ける建物の風力特性を明確にする。

２．研究の目的

本研究を通じて以下のことを明らかにする。

(1) Non-stationary 風速変動を持つ大気境界層の乱流特性

自然界に発生する Non-stationary 気流(例えば、竜巻や Downburst に伴う突風）のほとんどは特殊気象現象によるものである。本研究で用いられる実験装置では、Non-stationary 気流の発生メカリズムまで模擬することができないが、構造物の風力特性に決定的な要素である風速変動を模擬することが可能である。観測結果から予想される Non-stationary flow 境界層(例えば竜巻)の平均風速鉛直分布特性を持つ流れを風洞内で模擬した上で、流れの乱流構造を明らかにすることができる。これは構造物の風力特性を理解するための不可欠な条件である。

(2) 突風などの Non-stationary 風速変動における建物の風力特性

突風などの Non-stationary 風速変動を受ける低層、中層、高層建物模型の風圧・風力特性を解析し、風速加速度による空気力、特に流れ直交方向における空気力の変化を明らかにする。また、ウェーブレットや Hilbert などの非定常解析手法を用い、統計的に非定常確率過程である風圧・風力の時刻歴を解析し、時刻域及び周波数域での風圧・風力データの相関特性を明らかにする。

(3) Stationary と Non-stationary 風速変動における建物の風力特性の差異

通常の Stationary 境界層流れで得られた建物の風力特性と比較することにより、Stationary と Non- stationary 風速変動における建物の風力特性の差異を明確にする。

３．研究の方法

(1) 風洞における突風などの Non-Stationary 流れの模擬

宮崎大学（小園研究室）が所有するアクティブ制御風洞を用いる。アクティブ制御風洞を用いれば、境界層風洞で模擬できない Non-Stationary 流れが作り出せる。

(2) Non-stationary 過程の非定常解析法の研究

非定常な時系列データを解析するために、発展スペクトル方法、瞬間パワースペクトル方法などが提案されているが、本研究では、ウェーブレット解析方法を主に用いる。近年、統計的に非定常な時系列データを解析する方法として、ウェーブレット解析が提案され、実際に多くの場面で使用されるようになっている。ウェーブレット解析は、局所的な時間の領域で時系列データの振動数構造を求める場合に有効である。特に、基底関数は時間軸上ではある時刻の周りに局在しているため、事象の生起順序の情報を失わずに相互相関の強さを時間・振動数空間に表示できる

という長所がある。
(3)　低層・中層・高層模型の風圧実験および非定常解析
　Non-stationary 風速変動を受ける低層・中層・高層建物模型の風圧を計測し、時空間の相互相関解析とウェーブレット解析を行う。気流の速度勾配が逆転する現象は、実スケールでは約 100m-200m の高度で現れるので、この速度勾配の逆転がどのように高層建物の空力特性に影響をもたらすかは興味深い。
(4)　Non-Stationary 流れに置かれた模型からの渦放出挙動および空力特性との関連の物理的解明
　建物模型からの剥離せん断層、剥離せん断層と Non-stationary 風速変動との相互干渉作用、場合によっては、剥離せん断層が再付着するなど一連の構造物の空力現象を物理的に解明することは、構造物の風力特性の理解に非常に重要である。また、辺長比が変化することによって、建物模型の空力特性が一層複雑になると予想される。

４．研究成果
　自然界に発生する Non-stationary 気流(例えば、竜巻や Downburst に伴う突風）のほとんどは特殊気象現象によるものである。本研究で用いられる実験装置は、Non-stationary 気流の発生メカリズムまで模擬することができないが、構造物の風力特性に決定的な要素である風速変動を模擬することが可能である。本課題では、以下のことを実施した：
1)　Non-stationary 風速変動を持つ大気境界層の乱流特性
　観測結果から予想される Downburst の平均風速鉛直分布特性を持つ、速度が急増する流れを風洞内で模擬し、流れの乱流構造を明らかにした。
2)　突風などの Non-stationary 風速変動における建物の風圧実験
　風洞実験を実施し、突風などの Non-stationary 風速変動を受ける低層、高層建物模型の風圧・風力特性を調べた。得られた結果を解析し、風速加速度による空気力、特に流れ直交方向における空気力の変化を解析している。
3) 風洞結果の解析
　伝統的、近代的に統計手法を用い、時間領域・周波数領域における風圧特性を解析した。加速過程における模型表面の圧力相関は普通境界層の場合に比べると非常に高い。表面圧力は普通境界層の場合により低減される。Wavelet 解析により、普通境界層と Gust Front における風圧の scalogram の差異を明らかにした。Gust front にともなう風速は高度の増加につれ一意的に増加するではないため、その特性による高層建物の後流渦構造の変化を示唆した。これから、風向角の変化による表面圧力の特性を明確すると同時に、もっと綿密に Gust Front に起因する風圧の時間空間特性を Mapping する。

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　2　件）

(1) S. Cao, Y. Zhao, H. Ozono, Y. Tamura, A .Kareem, Z. Duan: Simulation of the Flow Field Characteristics of a Downburst Proc. Fifth International Conference on Fluid Mechanics (ICFM-V) 740-743
(2) Kyle Butler, Shuyang Cao, Yukio Tamura, Ahsan Kareem, Shigehira Ozono: Surface Pressure And Wind Load Characteristics On Prisms Immersed In A Transient Gust Front Flow Field, BBAA VI International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics & Applications, Milano, Italy, July 2008, pp. 20-24.

〔学会発表〕（計　4　件）

(1) S. Cao et al.A site investigation of wind damages caused by a Tornado, The 3rd Korea-Japan joint meeting on wind engineering, 2007, Korea
(2) 曹曙陽，小林文明，吉田昭仁，松井正宏，菊池浩利，佐々浩司，田村幸雄，北海道佐呂間町における竜巻による建物被害，日本風工学会誌 平成 19 年度年次研究発表会，32(2)，2007，163-164
(3) 小林文明，曹曙陽，吉田昭仁: 佐呂間竜巻の被害特性 －空撮から分かることー，日本風工学会誌 平成 19 年度年次研究発表会 32(2)，2007，165-166
4．松井正宏，田村幸雄，曹曙陽: 2005 年 11 月 8 日秋田県大潟村琴丘町に発生した突風被害，日本風工学会誌 平成 19 年度年次研究発表会，32(2)，2007，179-180.

〔図書〕（計 0　件）

〔産業財産権〕
○出願状況（計 0　件）

○取得状況（計 0　件）

〔その他〕

６．研究組織
(1)研究代表者
曹　曙陽 東京工芸大学工学研究科 COE 教授

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
小園　茂平　宮崎大学工学部　　　　　教授
吉田　昭仁　東京工芸大学工学部　准教授