

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820266

研究課題名(和文) 風速急変場において形成される突風渦とオーバーシュート風力の関係の解明

研究課題名(英文) Relationship between unsteady vortices generated on a body under a short-rise-time gust and the overshoot phenomenon of wind force

研究代表者

竹内 崇 (TAKEUCHI, TAKASHI)

神戸大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80624395

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：突風被害の一因となる風力のオーバーシュート現象の発生メカニズムを解明することを目的として、短時間で風速が急増する突風を受ける物体周りにおいて生じる突風渦と、オーバーシュート風力の関係性を数値流体計算により調べた。オーバーシュート現象の発生に風速急変時に生じる突風渦の成長が大きく関係し、突風渦の発生箇所が物体形状や風向角によって変化すること、またその発生パターンによってオーバーシュート現象の大きさや継続時間が変化することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The relationship between unsteady vortices generated on a body under a short-rise-time gust and the overshoot phenomenon of wind force acting on the body was investigated using a computational fluid dynamics (CFD) simulation with the aim of clarifying the mechanism of the overshoot phenomenon contributed to the gust-induced damage. It was found that the occurrence of the overshoot phenomenon related to the growth of the unsteady vortex on the body, the vortex grew larger under a short-rise-time gust with a shorter rise time, the generating areas of unsteady vortices changed with wind direction and the shape of the body, and the peak value and continuance of overshoot phenomenon changed with the pattern of unsteady vortex.

研究分野：工学

キーワード：立ち上がり時間の短い突風 風力のオーバーシュート現象 数値流体計算 非定常渦

1. 研究開始当初の背景

竜巻やダウンバースト、あるいは台風や季節性強風下においては、短時間で風速が増加するいわゆる「立ち上がり時間の短い突風」が発生することがある。このような立ち上がり時間の短い突風を受ける物体に作用する風力は、同じ風速値に風速がゆっくりと変化するときと生じる風力よりも大きいことが既往の研究で報告されており、この通常よりも大きな風力が作用する現象は「風力のオーバーシュート現象」と呼ばれている(図1)。しかしながら、現行の耐風設計においては、オーバーシュート現象による風力の増幅効果は考慮されていない。一方で、実際に突風被害が生じたときに、立ち上がり時間の短い突風が観測されている。また2012年5月につくば市で生じた竜巻によって発生した戸建住宅が基礎から転倒した被害の原因においてもオーバーシュート風力の影響が検討されている。突風被害を低減するには、オーバーシュート現象の発生メカニズムを明らかにし、実際の突風下におけるオーバーシュート風力を推定する手法を確立する必要がある。

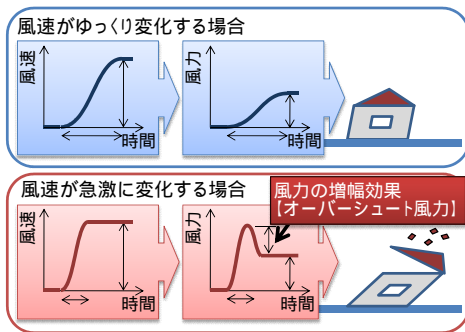


図1 同じ風速変化量でも急激に風速が変化の方が大きな力が働く

これまで無風状態や一定の風が流れている状態から様々な立ち上がり時間の突風を生成する風洞実験や数値流体計算による検討が行われ、風速の立ち上がり時間が風力の増幅効果に及ぼす影響や風力のオーバーシュート現象の発生メカニズムに関する研究が行われてきた。その結果、風速急変時に物体周りに非定常な渦(以下、突風渦)が発生し、それがオーバーシュート風力に影響することが明らかとなった(図2)。

しかしながら、風速急変場における突風渦の発生および成長の過程や突風渦の大きさとオーバーシュート風力の大きさの関係性などには未解明な点が多く残されている。



図2 突風時の物体周りの圧力コンター図

2. 研究の目的

本研究では、風速急変場の物体周りにおいて生じる突風渦の成長メカニズムおよび突風渦とオーバーシュート風力の関係性を数値流体計算により明らかにし、突風下での風力のオーバーシュート現象の発生メカニズムを解明することを目的とする。まず、立ち上がり時間の短い突風下の基本形状物体および住宅形状物体の周りに生じる突風渦の成長過程を解明すると共に、オーバーシュート風力に関連する無次元パラメータの抽出を行う。そして、数値流体計算により得られるオーバーシュート風力のデータを用いて物体の形状や風向角がオーバーシュート風力に及ぼす影響を明らかにすると共に、上述の無次元パラメータにより整理することで、各物体のオーバーシュート風力特性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 立ち上がり時間の短い突風下での突風渦の成長メカニズムの解明

立ち上がり時間の短い突風下において、物体の周りで生じる突風渦の発生、成長および放出の過程を数値流体計算により明らかにする。対象物体は、基本形状物体および住宅形状物体として、それらの周りの解析モデルを作成する(図3)。数値流体計算は対象物体周りの2次元流れ場に、無風状態から短時間で風速が急増する模擬突風を流入し(図4)、対象物体に作用する風力や物体周りの流れ場の流速データや圧力データを取得し、分析する。

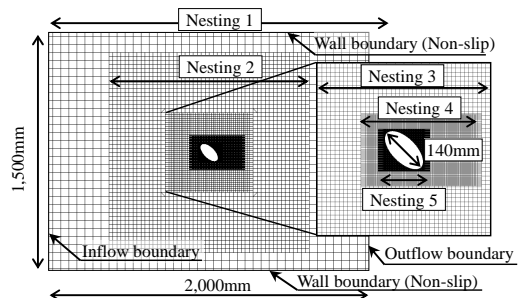


図3 解析モデルの例(楕円断面柱)

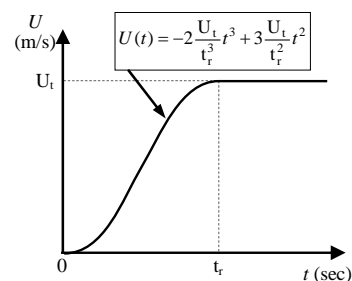


図4 流入風速波形

(2) 立ち上がり時間の短い突風下での突風渦とオーバーシュート風力の関係性の解明

立ち上がり時間の短い突風下において発

生する突風渦とオーバーシュート風力の関係性を明らかにする。突風渦の成長過程と、対象物体に作用する風力の時刻歴波形を対応させて、オーバーシュート風力発現時の突風渦の成長状態や位置を明らかにし、オーバーシュート風力の大きさと突風渦の状態の関係性を整理することで、オーバーシュート風力の発生メカニズムを解明する

(3) オーバーシュート風力に及ぼす物体形状や風向角の影響の解明

立ち上がり時間の短い突風をシミュレートする数値流体計算を行い、オーバーシュート風力に及ぼす物体の形状および風向角の影響を明らかにする(図5)。様々な風向角や屋根形状建物に対する突風のシミュレーションを行い、各モデルの突風渦と風力のオーバーシュート現象の関係性を整理する。

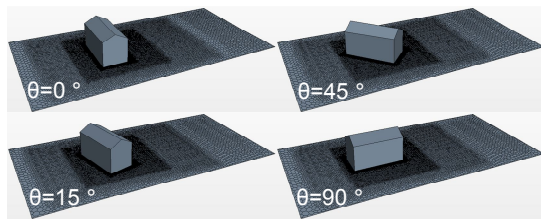


図5 各風向角での解析モデル

(4) オーバーシュート風力特性の図式化

各モデルでの数値流体計算結果のオーバーシュート風力を無次元パラメータで整理し、オーバーシュート風力と無次元パラメータの関係を図式化することでオーバーシュート風力特性を明らかにし、突風下の物体に作用するオーバーシュート風力の推定できるツールとする。

4. 研究成果

(1) 迎角 45 度の楕円柱物体では楕円柱の上面部において突風渦が発生し、成長することにより、横力のオーバーシュート現象を引き起こし、その後、渦が放出され後方に移動することにより、抗力のオーバーシュート現象を引き起こす。流入する突風の立ち上がり時間が短く、風速の変化量が小さいほど、突風渦が大きく成長し、より大きなオーバーシュート現象が生じる(図6)。

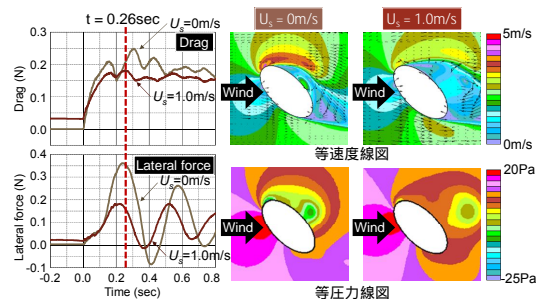


図6 楕円柱物体における非定常渦の成長とオーバーシュート現象

(2) オーバーシュート現象の大きさは、立ち上がり開始前後の風速値の比( $U_s/U_i$ , ここで  $U_s$  は立ち上がり前の風速値,  $U_i$  は立ち上がり後の風速値)および、風速の立ち上がり時間、風速の変化量と物体のサイズから構成される無次元立ち上がり時間  $t_r'$  ( $t_r' = (U_i - U_s) \cdot t_r / d$ , ここで  $t_r$  は風速の立ち上がり時間,  $d$  は物体のサイズ)が関連する(図7)。

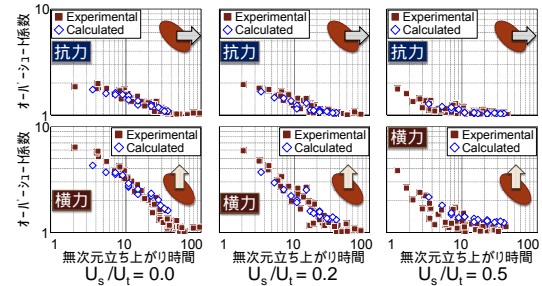


図7 オーバーシュート現象と無次元立ち上がり時間の関係

(3) 突風を受ける切妻屋根物体において、桁側から突風を受ける場合は風下屋根面および妻面において突風渦が生じ、屋根面上の非定常風圧力のピーク値及びピークを迎える時間は、突風渦の移動に従って同じ面上においても変化する。風圧力のオーバーシュート現象は風下屋根面においては棟部付近で、妻面においては風上側端部付近で顕著に現れる(図8)。

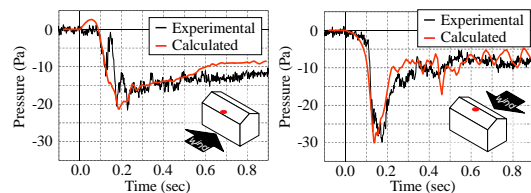


図8 風下屋根面の棟部付近でオーバーシュート現象が顕著に現れる

(4) 突風下の切妻屋根物体に発生する突風渦は、突風の風向によってその発生場所が異なり、渦の大きさ並びにオーバーシュート現象の大きさも変化する(図9)。

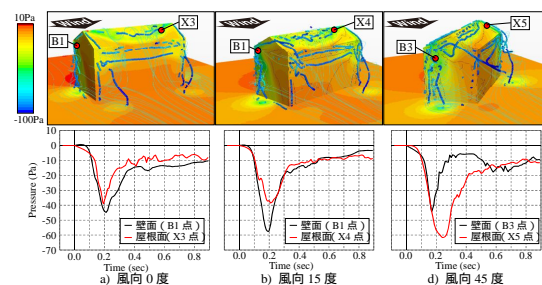


図9 風向角によって突風渦の発生箇所やオーバーシュート現象の大きさが変わる

(5)物体形状によってオーバーシュート風力の原因となる突風渦の発生箇所が変わり、オーバーシュート現象の大きさが変化することを明らかにした。切妻屋根建物であれば、屋根面では風向角 45 度のときに、ケラバから生じる非定常渦の影響が大きく見られ、妻壁面においては風向角 15 度で風上側上方から対角線上に高い負圧の領域が広がることが分かった(図 10)。

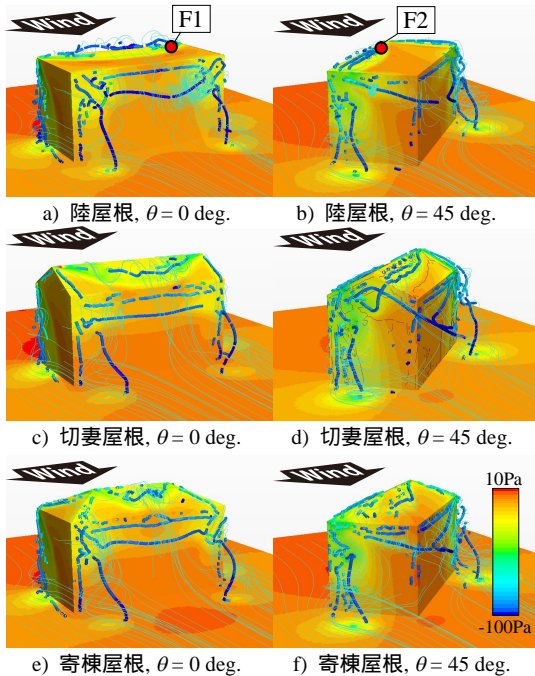


図 10 物体形状によって突風渦の発生箇所やオーバーシュート現象の大きさが変わる

(6)オーバーシュート現象の継続時間は形成される突風渦の形状によって異なり、突風渦が円錐状に広がる位置での風圧力のオーバーシュート現象の継続時間が長くなる傾向にあることが分かった(図 11)。

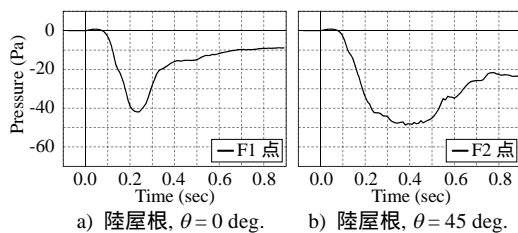


図 11 形成される突風渦の形状によってオーバーシュート現象の継続時間が異なる

(7)風速の立ち上がり開始前後の風速値、風速の立ち上がり時間を変数とした数値流体計算を行い、各計算結果のオーバーシュート風圧力を無次元パラメータで整理し、その関係の図式化を行った。オーバーシュート現象が顕著に現れる点で、オーバーシュート風圧力と無次元パラメータの関係性が鮮明に見られ、立ち上がり開始前後の風速値の比ごとに、風速の変化量と立ち上がり時間、物体のサイズから決まる無次元立ち上がり時間でオーバーシュート風圧力を整理した(図 12)。

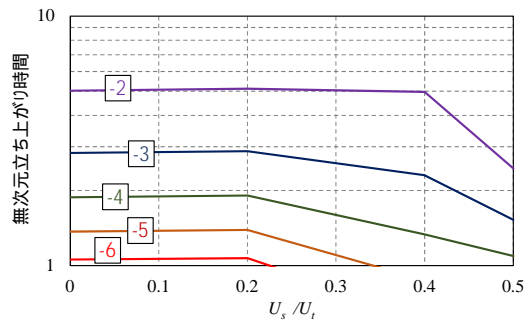


図 12 開始風速比と無次元立ち上がり時間によるオーバーシュート風圧係数の等値線図(オーバーシュート風圧係数=風圧力のピーク値/定常時の速度圧)

(8)上記の成果より、立ち上がり時間の短い突風下で物体周りに生じる突風渦は、流れの剥離が始まる点(壁面の風上側のエッジや軒の風下側)で生じやすく、それに伴い生じる強い負圧によりオーバーシュート現象が発生することが分かった。この突風渦は、無次元立ち上がり時間が小さいほど、物体から放出される前に大きく成長しやすく、結果として、より大きなオーバーシュート現象を引き起こすものと考えられる。この突風渦の発生箇所は物体形状や風向角によって変化し、その発生仕方によってオーバーシュート現象の継続時間にも影響する傾向が見られた。顕著にオーバーシュート現象が現れる点において、図 12 のようなオーバーシュート風圧力の図表を整備することで、実際の突風を受ける構造物のオーバーシュート風力の推定に発展することができると考えられる。

## 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 4 件)

竹内崇, 前田潤滋, 立ち上がり時間の短い突風下の切妻屋根建物に作用する非定常風圧力に及ぼす風向角の影響に関する研究, 第 23 回風工学シンポジウム論文集, 査読有, pp.247-252, 2014 年 12 月

Takashi TAKEUCHI, Junji Maeda, Kazuhiro Otsubo, Numerical investigation of a flow development around an elliptic cylinder subjected to short-rise-time gusts, Proceedings of 6th International Symposium on Computational Wind Engineering, 査読有, 8pages, 2014.6.

竹内崇, 前田潤滋, 大坪和広, 友清衣利子, 立ち上がり時間の短い突風を受ける物体に作用する非定常風圧力 - 基準静圧変動を考慮した圧力計測による実験的検討 -, 日本建築学会構造系論文集, 第 79 巻, 第 697 号, 査読有, pp.357-366, 2014 年 3 月

Takashi TAKEUCHI, Junji Maeda, Kazuhiro Otsubo, Numerical and experimental

investigations on unsteady wind pressure on a gable roof body under a short-rise-time gust, Proceedings of 8th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, 査読有, 2013.12.

[学会発表](計1件)

竹内崇, 前田潤滋, 立ち上がり時間の短い突風下の建物に作用する非定常風圧力に及ぼす屋根形状の影響, 平成27年度日本風工学会年次研究発表会, 2015年5月27-28日, 徳島大学(徳島).

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹内 崇 (TAKEUCHI, Takashi)

神戸大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 80624395