

H1-5

突風が正方形角柱に及ぼす空気力のオーバーシュートに関する数値流体解析

Numerical flow analysis of overshooting of the aerodynamic forces on the square cylinder by gust wind

○鈴木修平¹,野村卓史²,長谷部寛²

*Shuhei Suzuki, Takashi Nomura, Hiroshi Hasebe

Abstract : When the approaching wind velocity increases suddenly, the drag force shows overshoot phenomenon. The overshoot phenomenon of a square cylinder is investigated by the finite element numerical flow analysis. As the first examination, comparison was made regarding the angle of attack. When the cylinder inclined at 15 degrees, the lift force reveals overshoot. As the second examination, comparison is made between the case where the approaching flow is increased and the case using the ALE method where the square cylinder starts suddenly in a still fluid. In the latter case, the overshoot coefficient becomes large though the peak drag becomes small.

1. はじめに

近年、竜巻・台風等による突風の被害が多く発生している。実際に突風が原因となり山形県で電車(羽越線)の横転事故などが発生している。このような突風による空気力に関しては、AC サーボモータ送風機を用いて突風状の気流を正方形角柱に作用する非定常流体力の実験において非定常抗力が定常抗力よりも大きくなるオーバーシュート現象が生じることが報告された¹⁾。本研究では、この実験に関連した数値流体解析を、上流流速の立ち上げ方を計画的に設定することで実施し、正方形角柱周りの流れを明らかにすることを目的としている。

2. 解析手法・解析条件

本解析では、流体の支配方程式は非圧縮性粘性流体の Navier-stokes 方程式で、乱流モデルは用いていない。解析法には Hughes らの変分マルチスケール法²⁾を用いた。Figure 1 に用いた解析メッシュと境界条件を示す。3次元の6面体要素を1平面内に並べて実質的に2次元の解析を行った。解析は、静止角柱に風が作用する場合(Fig.1 の条件①)、及び静止流体内で急に角柱が動き始める場合(Fig.1 の条件②)の二通り行った。

オーバーシュート現象は風速が変化する時間に依存して大きく変わってくる。そこで本研究では、Re 数と無次元立ち上がり時間 $\tau_r = t_r \cdot \bar{U} / D$ をパラメータとして解析を行った。ここで \bar{U} は定常風速、Dは角柱の辺長、 t_r は風速が0から \bar{U} に達するまでの時間である。

定常抗力 \bar{F}_D に対する抗力の最大値 F_{Dmax} をオーバーシュート係数 $R_{OS} = F_{Dmax} / \bar{F}_D$ という

3. 解析結果

3.1 迎角による影響

迎角による影響を調べるため、迎角0度と15度の2つの場合について $Re=10$ 、 $\tau_r=1, 10, 100$ における解析を行った。迎角0、15度における定常時の流速をFigure 2,

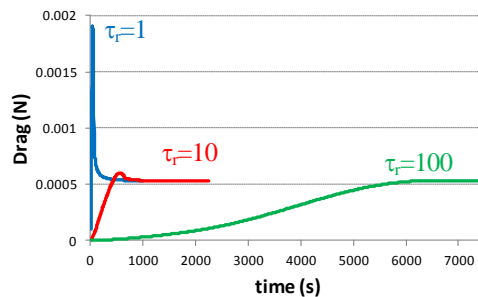


Figure 4 Time history of drag force and lift force(15degrees)

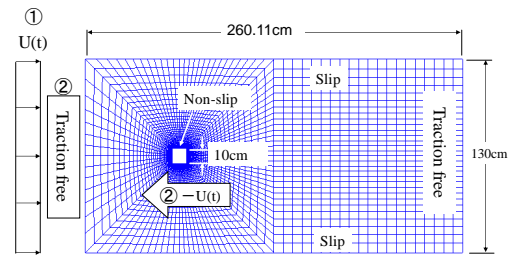


Figure 1 Finite element mesh and two types of the boundary conditions compares.

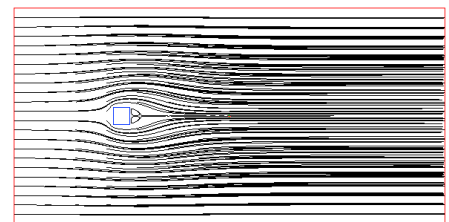


Figure 2 Computed streamlines (0 degree)

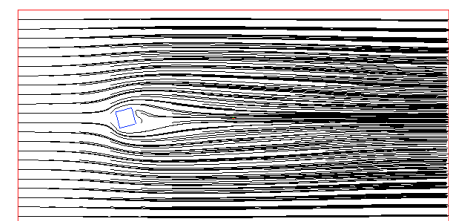
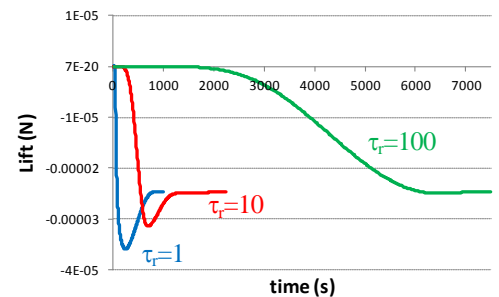


Figure 3 Computed streamlines (15 degrees)



3に示す。 $Re=10$ という低風速域であるため、迎角0度においては双子渦の定常状態になり、流速は上下対称となって

1:日大理工・院(前)・土木 2:日大理工・教員・土木

いるため、揚力はゼロとなった。これに対して迎角 15 度においては上下対称流れとはならないため揚力が発生した。抗力と揚力の時間変化は Figure 4 のグラフのような結果となり、抗力・揚力ともに無次元立ち上がり時間 τ_T が小さくなるにつれてオーバーシュートが大きくなる結果が得られた。

3.2 ALE 法による解析①

前項の解析で用いた境界条件(Fig.1 の条件①)は、物体まわりの流れの解析で通常用いられるが、流入境界から流出境界にかけて圧力勾配が生じるので、これが流体力にどれだけ影響を与えているか検討する必要がある。そのため ALE 法を用いて流入境界もトラクションフリーとし、圧力勾配が生じないようにし、メッシュ自体を動かすことにより物体を急発進させる解析を行った。その時の境界条件を Figure 1 の②として示す。解析条件は $Re=10$, $\tau_T=1$, 10, 100 について行った。

解析結果の一例として非定常抗力が最大となる時の圧力を同じコンター間隔で示した図を Figure 5, 6 に示す。この時の中心線上の圧力を表示したものが Figure 7 である。また、この時の抗力の時間変化を Figure 8 に示すが、通常の解析と比べ加速時の抗力の値がかなり小さくなっている。しかし、解析を続けていくと領域内のすべての流体が角柱と一様に流れる状態に到り、定常抗力が 0 となるという結果になった。そのため、オーバーシュート係数を評価することができなかった。

3.3 ALE 法による解析②

前項での解析で定常抗力が 0 になってしまったため、上下端の境界条件を slip から non-slip へと変更した解析を行った。その結果、Figure 8 のように定常抗力の値が得られた。ただし、Figure 1 のメッシュをそのまま用いたので上下境界のメッシュが粗く、境界層に対する解像度が悪いので、今後メッシュを改善する必要がある。

3.4 オーバーシュート係数

無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数について両対数グラフにプロットしたものを Figure 9 に示す。ALE 法での解析結果についてはピーク抗力が小さくなったが定常抗力も小さくなったため、逆にオーバーシュート係数が大きくなる結果が得られた。

4. まとめ

突風による空気力の時間変化に関する正方形角柱の数値流体解析を行い、以下の結果を得た。

- ・ 迎角を有する解析では揚力にもオーバーシュートが生じた。
- ・ オーバーシュート係数は無次元立ち上がり時間が小さいほど大きくなる。
- ・ ALE 法により圧力勾配のない状態の解析を行い、通常境界条件による解析よりも抗力が小さくなる結果を得た。ただし、解析メッシュの改善等の課題が残っている。

今後はもっと高い Re 数において突風の空気力が及ぼす影響を調べる。

参考文献

- 1) 野村卓史, 北村徹哉, 濱田雅史, 坂本美由紀: 瞬間的な風速変動に対する角柱の応答, No.79, pp.145-146, 1999
- 2) 日本計算工学流れの有限要素法研究会編: 続・有限要素法による流れのシミュレーション, 第9章「乱流の変分マルチスケール理論, シュプリンガー・ジャパン, 2008

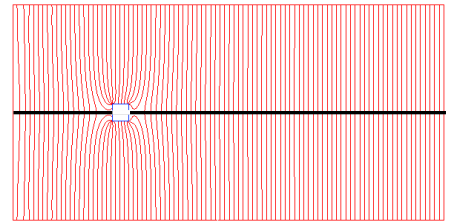


Figure 5 Computed pressure contours (Ordinary analysis)

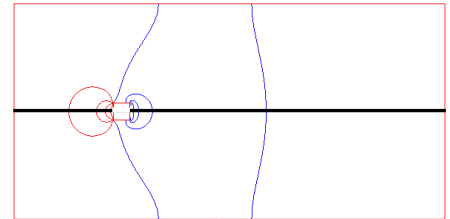


Figure 6 Computed pressure contours (ALE method: case ①)

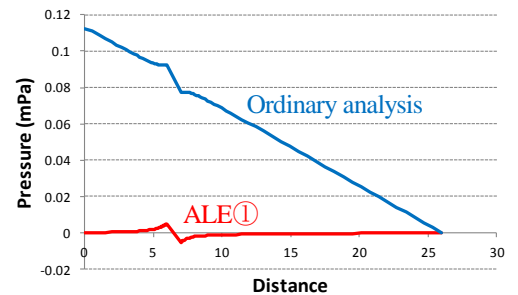


Figure 7 Computed pressure distributions along the centerlines in Fig.5 and Fig.6

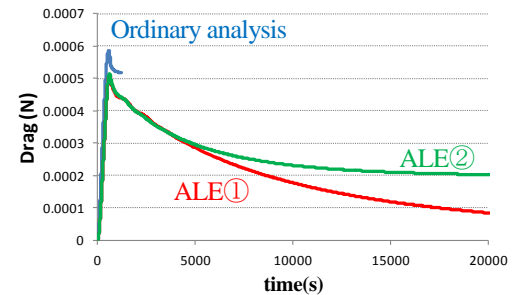


Figure 8 Time history of drag force of three methods ($\tau_T=10$)

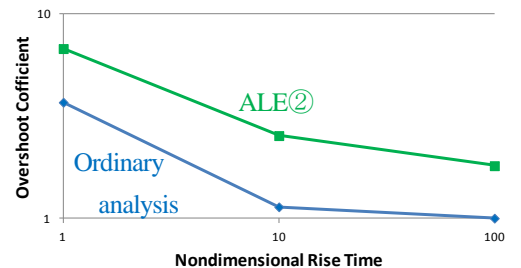


Figure 9 Comparison of overshoot coefficients