

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

日本大学 学生会員 ○鈴木 修平

日本大学 フェロー 野村 卓史

日本大学 正会員 長谷部 寛

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の電車(羽越線)で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抗力に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．図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．

オーバーシュート現象は，風速が急上昇する時に空気力が急上昇する事である．この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 は立ち上がり時間である．また，風速の立ち上げ方を図2に示す3通りのパターンとした．

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 風速の立ち上げ方の影響

風速の立ち上げ方の影響を調べるため， $Re=10$ ， $\tau_r=1$ における解析を図2の3種類の関数を用いて行った． $Re=10$ という低風速域であるため，図3のように双子渦の状態で定常状態となり，流速・圧力は上下対象流れとなっているため，揚力はゼロとなった．抗力の時間変化とオーバーシュート係数は図4のグラフのような結果となり，関数 $\cos$ で立ち上げた場合のオーバーシュート係数が最大であった．

3.2 無次元立ち上がり時間の影響

過去に行われた風洞実験¹⁾では，無次元立ち上がり時間が小

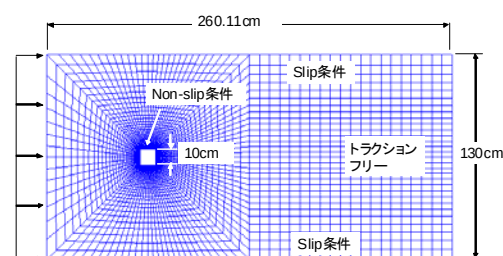


図1 解析メッシュと境界条件

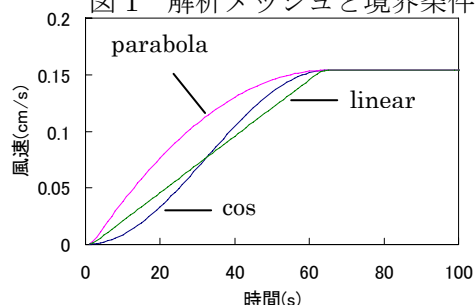
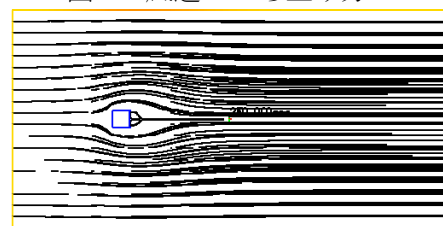
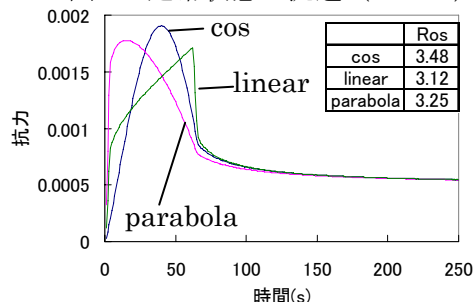


図2 風速の立ち上げ方

図3 定常状態の流速 ($Re=10$)図4 風速の立ち上げ方と抗力の時間変化($Re=10$)

キーワード 突風，オーバーシュート係数，無次元立ち上がり時間，正方形角柱，数値流体解析
連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 Tel:03-3259-0411

さくなるにつれてオーバーシュート係数が大きくなるという結果が得られている. 本研究においても無次元立ち上がり時間が抗力に与える影響を $Re=10$, 風速立ち上げ関数 $\cos$ で $\tau_r=1, 10, 100$ の3パターンで解析を行った.

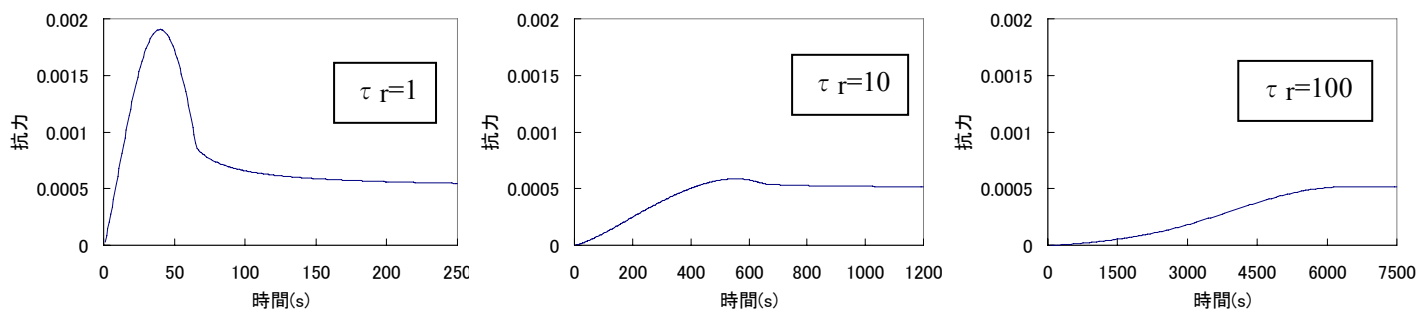


図5 無次元立ち上がり時間と抗力の時間変化($Re=10, \cos$)

抗力の時間変化は, 図5のようになった. $\tau_r=1$ では大きなピークが見られたが, $\tau_r=10$ ではピークは小さくなり, $\tau_r=100$ ではほとんどピークがみられず定常抗力を超えなかった. この時の各オーバーシュート係数を無次元立ち上がり時間で両対数グラフにプロットしたものが図6である. 過去の実験と同様, 無次元立ち上がり時間が小さくなるにつれてオーバーシュート係数が大きくなるという結果が得られた. また, オーバーシュート係数は $\tau_r=1 \sim 10$ の間で急激に変化し, $\tau_r=10 \sim 100$ では緩やかに変化していることがわかった.

3.3 $Re=100$ の場合

$Re=100$ において立ち上げ関数 $\cos$, $\tau_r=10$ で解析を行った. 抗力の時間変化は, 図7のようになった. 図8のようにカルマン渦が生じ, 変動抗力の平均値を定常抗力とする. この値を $Re=100$ における定常抗力として, $\tau_r=1, 100$ のピーク値を求め, これより求めたオーバーシュート係数を $\tau_r=1, 100$ の場合とともに図6に示す. $Re=10$ の場合と同様の傾向が得られた.

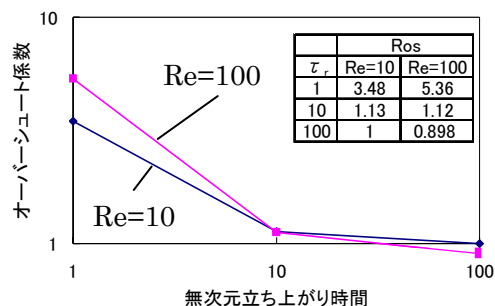


図6 オーバーシュート係数と無次元立ち上がり時間

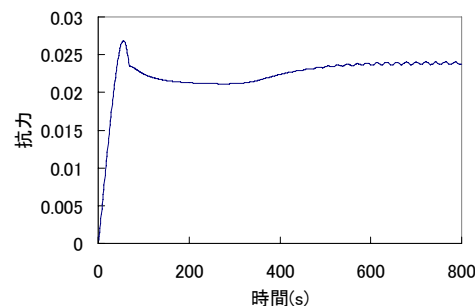


図7 抗力の時間変化($Re=100$)

4. まとめ

突風による抗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.

- ・同じ Re 数, 無次元立ち上がり時間でも, 風速の立ち上げ方によってオーバーシュート係数が異なる.
- ・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.

今後の課題として, もっと高い Re 数において各条件が及ぼす影響を調べるものとする.

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ュミレーション, 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

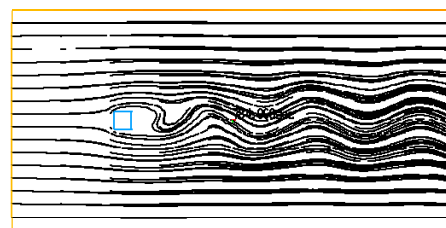


図8 時の流速図
($Re=100, \tau_r=10$)