

風速急増時における正方形断面角柱周りの流れ場及び空気力特性

名古屋大学

学生会員

○吉田 守孝

法政大学

正会員

北川 徹哉

1. はじめに

突風や竜巻が原因と考えられる鉄道の転倒・脱線事故などにより，社会の突風に対する関心が高まっている．本研究では，風速が急増時における正方形断面角柱まわりの流れ場を対象とした3次元数値流体解析を行った．得られた結果から角柱まわりの流れ場と空気力特性，風速の立ち上がり時間による影響について考察を行った．

2. 解析手法及び解析条件

本研究では非圧縮性流体を対象とするため，支配方程式は無次元化した連続の式と非圧縮性ナビエ・ストークス方程式 (NS 式) である．乱流モデルとして LES を導入し，Smagorinsky モデルを用いた．

本研究ではコロケート配置を用いた一般座標系において差分法により離散化し，SMAC 法により求解した．その際に NS 式の対流項に2次精度アダムス・バッシュフォース法を，粘性項に2次精度クランク・ニコルソン法を用いた半陰解法を採用した．また，3次精度上流差分法を用い対流項から計算の不安定性の原因となる乱れの高波数成分を取り除いた．

計算領域及び入力風の流入方向，格子配置を図-1，図-2 に示す．格子点数は流出側角柱断面の中心を原点として，放射方向に200点，周方向に401点，奥行き方向に52点とした．なお，その他の境界条件については紙面の都合上，本文では省略する．

流入側境界での主流方向速度を図-3 に示すように風速0からコサイン波的に立ち上がり，最終的に最大風速に到達して流入し続けるように与えた．風速の立ち上がり時間の影響を調べるために，本研究では無次元空間幅・無次元時間幅・レイノルズ数の条件を変化させた複数のケースの解析を行った．なお，本文では表-1 に示す2つのケース (Case1, Case2) の結果を示す．

3. 解析結果

解析によって得られた Case1, Case 2 における抗

力係数 C_D 及び Case 1 の揚力係数 C_L の時刻歴を図-4, 図-5, 図-6 に示す．横軸は無次元時間である．図-4, 図-5 から風速上昇時に立ち上がり時間が短い Case1 では抗力が急激に上昇していることがわかる．このような現象は overshoot 現象と呼ばれており，その発生に立ち上がり時間が関係することがわかる．一方，図-6 では風速上昇時に C_L は0に近い値を示しており，その他の条件においても同様な結果を得た．また， C_L , C_D ともに時間の経過に伴い周期的な変動を繰り返すようになる．

風速急増時の角柱周りの流れ場及び圧力分布の変化を関連づける．ここでは Case1 の結果を示す．図-7 は流入側外部境界における主流方向速度 u の時刻

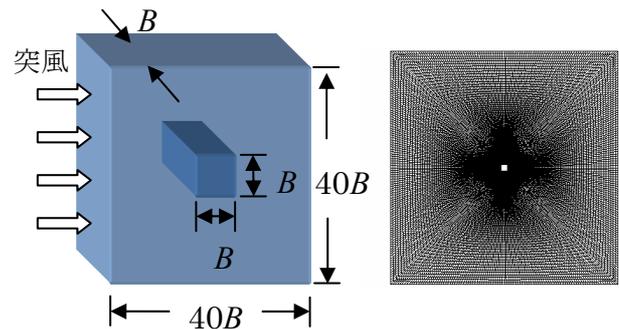


図-1 計算領域及び入力風の流入方向

図-2 計算領域格子配置の断面図

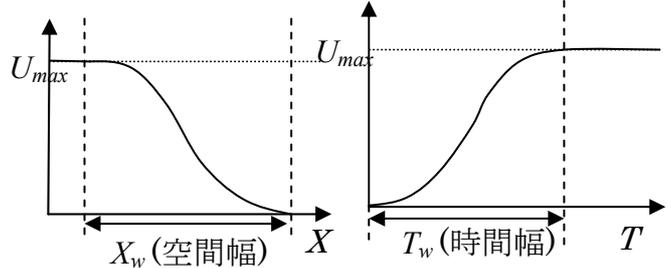


図-3 仮定した突風の構造

表-1 解析条件

	X_w (無次元空間幅)	T_w (無次元時間幅)	Re (レイノルズ数)
Case 1	6	6	20000
Case 2	24	24	20000

キーワード 風速急増 正方形断面角柱 数値流体解析 LES

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科 TEL052-789-4620

歴, 図-8 (a)~(f)はそれぞれ $t=3.0, 4.4, 5.62, 6.61, 7.46, 29.6$ における正方形断面角柱周りの流れ場の瞬間渦度分布と角柱奥行き方向中間断面表面上の圧力係数 C_p の分布を同図に示したもので, 図-7 中の記号と対応している. $t=3.0$ (a)では突風の流入が始まり, すべてのエッジから剥離せん断層が発生, その先端に渦が形成される. $t=4.4$ (b), $t=5.62$ (c)では角柱上下面では風速の上昇に伴い渦が表面上を流下する. その際に, 剥離せん断層と渦との分離や表面上を流下する渦同士のマーキングが起こるといった様相を示すことがわかった. 一方, 角柱後背面では剥離せん断層と発生した双対渦により後流境界が形成される. 圧力分布に注目すると角柱上下面では発生した渦の前方で負圧が低下し, 渦の流下に伴い渦度分布が大きく変動する. また, 角柱後背面においては後流境界の発達により負圧が低下し, overshoot現象が発生することがわかる. また, C_L が風速上昇中に0に近い値を示すのは, 圧力変動がほぼ上下対称に起こるためである. 最大風速到達後の $t=6.61$ (d), $t=7.46$ (e)では角柱上下面を流下する渦が後方エッジに到達し角柱後方へと放出される際に後背面の剥離せん断層が消失し, 流れ場が乱れ始め, 圧力分布が非対称となる. そして, $t=29.6$ (f)のように角柱後方へ周期的にカルマン渦を放出する流れ場へと変化し C_L, C_D の周期的な変動につながる.

4. まとめ

本研究では, 突風作用時における正方形断面角柱周りの流れ場を対象とした数値流体解析を行った. その結果, 風速急増時にはエッジから生じる剥離せん断層の先端に発生し, 流下する渦の影響により流れ場及び圧力の変動が起こることがわかった. また, 突風の立ち上がり時間の違いにより, 風速上昇時の C_D の変化に違いが生じることがわかった.

参考文献

[1]Sarpkaya,T. and Ihrig,C.J. (1986) : Impulsively Started Steady Flow About Rectangula Prisms: Experiments and Discrete Vortex Analysis
Journal of Fluids Engineering, Vol108, pp47-54
[2]松本 勝 他(2007) : 風速急変時における過渡抗力特性に関する研究, 日本風工学会誌, Vol32 No2, pp185-186

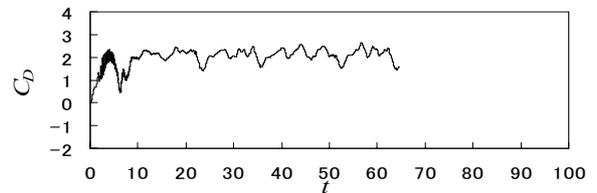


図-4 抗力係数の時刻歴 (Case1)

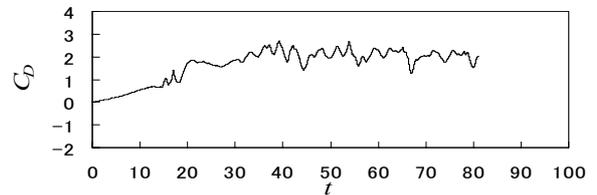


図-5 抗力係数の時刻歴 (Case2)

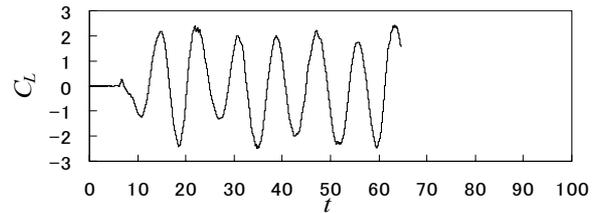


図-6 揚力係数の時刻歴 (Case1)

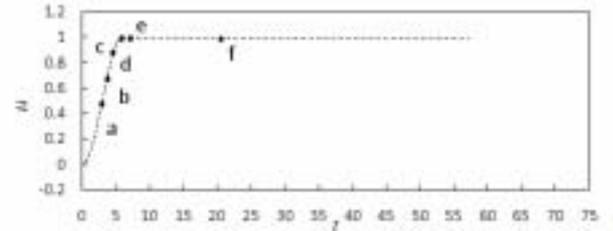


図-7 流入側外部境界における主流方向速度 u の時刻歴 (Case1)

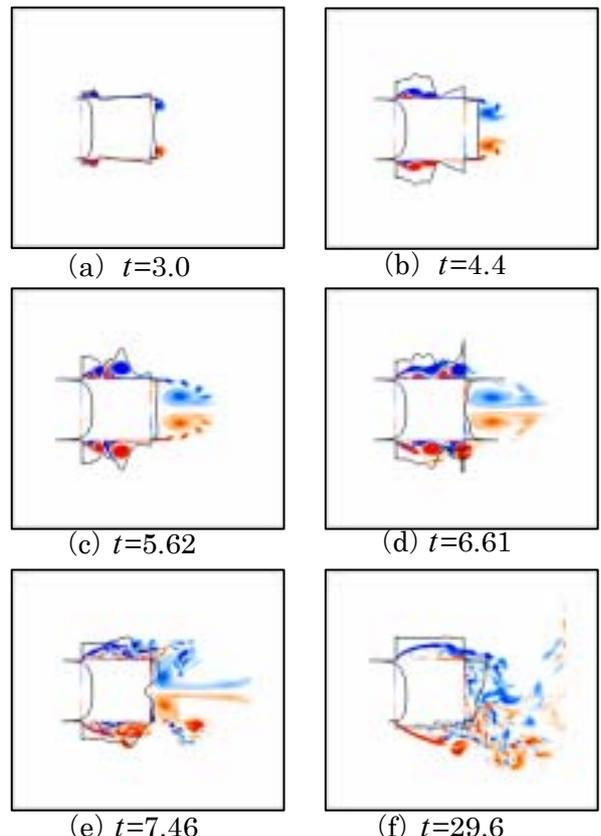


図-8 正方形断面角柱周りの渦度分布及び圧力分布 (Case1)