

LES を用いた突風発生時の正方形角柱に作用する過渡空気力特性に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○稲毛 健至
京都大学大学院工学研究科 正会員 白土 博通
京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己
西日本電信電話株式会社 (研究当時京都大学大学院生) 非会員 佐々木 治

1. 序論

竜巻などの突風発生時の空力現象は非常に特殊であり、従来まで考えられてきたガスト応答係数を用いた空気力算定式では十分な安全性を確保できるとは言えず、突風発生時における風速変化は、乱れとしてよりは寧ろ、主風速の変動として考えられるべきである。本研究では、数値流体解析を用いて、正方形角柱断面を対象に風速急変時の空力的な過渡特性について検討する。また、ランキン渦モデルを用いて、竜巻通過時の風速・風向の過渡特性や構造断面に対する空気力特性についても考察する。

2. 空気力係数などの定義

数値流体解析から得られる抗力係数及び揚力係数は、表面圧力を積分することで算出した。両空気力成分は風軸まわりの値である。

$$C_D = \frac{\int_A (P_{drag} - P_{\infty}) dA}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad C_L = \frac{\int_A (P_{lift} - P_{\infty}) dA}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$$

(1)

但し、 ρ は空気密度[N/m³]、 U は定常風速[m/s]、 D は流れ直角方向の代表長 [m]、 B は流れ方向の代表長[m]、 L は模型スパン長[m]、 A は模型の投影面積(抗力方向では $A=D \times L$ 、主流鉛直方向では $A=B \times L$)[m²]、 P_{drag} は表面圧力の抗力方向成分[Pa]、 P_{lift} は表面圧力の揚力方向成分[Pa]、 P_{∞} は静圧[Pa]である。また、風速の無次元立ち上がり時間を以下で定義する。

$$\frac{U_0 t'}{D}$$

(2)

但し、 U_0 : 風速立ち上がり後の定常状態での風速 [m/s]、 t' : 風速立ち上がり時間[s]であり、 $t'=t_0-t_i$ 、 t_0 : 風速が U_0 に到達した時刻[s]、 t_i : 風速が立ち上がり始めた時刻[s]とする。

3. LES を用いた数値シミュレーション

LES の Smagorinsky モデルを採用し、柱軸方向に解析領域の厚さを加えた 3 次元計算を行っており、解析条件は表 1 の様に設定している。表 2 は定常状態に空気力の緒元を示しており、既往の研究にて報告されている実験結果の数値と本研究の数値流体解析で得られた数値を比較すると、変動揚力係数が過大評価であること以外は文献における数値と近い値を示している。変動揚力が大きい理由については、模型の span 方向の計算領域が不十分であることが考えられる。本研究では、風速の立ち上がり時間を様々な値に変化させて、風速急変時における迎角 10[deg.]の正方形角柱断面に作用する空気力過渡特性について考察する。風速の立ち上がり時間 t' と揚力係数のピーク立ち上がり時間 t_L (t_L : 揚力係数ピークの時刻から風速が立ち上がり始めた時刻を引いたもの) の関係を図 1 に示す。これより、両者にはほぼ線形関係があり、さらに、風速立ち上がり時間が極めて小さいケースでは、 $t' < t_L$ であるので、風速が一定値に立ち上がった後に揚力係数のピークが

			計算領域	メッシュ数	境界条件				
B/D	B [mm]	D [mm]	$L_1 \times L_2 \times L_3$	$N_1 \times N_2 \times N_3$	流入	流出	x_2	x_3	物体壁面
1	30	30	1830×830×60	215×140×6	時間変動	自由条件	slip	slip	non slip
L : i 方向の計算領域長さ[mm]、 N : i 方向のメッシュ数、最小メッシュ幅 $h=1$ [mm]									

表 1 解析条件

	平均抗力係数	平均揚力係数	変動抗力係数	変動揚力係数	ストローハル数
文献における数値	1.85	-0.63～-0.50	0.07～0.17	0.38～0.58	0.126～0.141
数値流体解析	1.8	-0.42	0.12	1.21	0.143

表 2 定常状態における空気力の緒元比較

生じているが、風速立ち上がり時間が極めて小さいケースを除けば、風速立ち上がり中に揚力係数のピークが生じていることがわかる。また、図2に示されているように、風速の無次元立ち上がり時間が小さいほど、揚力係数のピーク値が大きくなるという傾向が得られ、従来から指摘されている **overshoot** 現象と同様の傾向が得られた。図3(a)(b)の流れ場の矢印は風速を示しており、背景は圧力を示している。図3(a)の揚力ピーク時に模型上面で圧力が低くなっている。また、この傾向は、風洞実験における圧力ピーク時の可視化画像(図4)や、他の風速立ち上がり時間を与えた解析結果においても確認できた。また、図3(b)に示す抗力ピーク時には下面より発達した渦が背面に回り込み発生したと考えられる。

4. 結論

- 1) 風速立ち上がり時間と揚力係数ピーク立ち上がり時間に線形関係がみられた。また、無次元風速立ち上がり時間が大きくなると、おおよそ揚力係数ピーク値が減少する傾向も確認された。
- 2) $B/D=1$,断面,迎角 $10[\text{deg.}]$ では、風洞実験や、風速立ち上がり時間を様々な値に変えたケースにおいても、正の揚力ピークが確認され、同様の内部循環流を形成していることがわかった。
- 3) 抗力のピーク発生時には下面より発生した渦の背面への回り込みによるものと判断された。

参考文献

- 1) 白石成人, 松本勝, 北川雅章: “風速が急変する場合の物体に作用する空気力”, 第7回風工学シンポジウム論文集, pp.107-113, 1982
- 2) 石原孟, 岡新一, 藤野陽三: “一様流中に置かれた正方形角柱の空気力特性の数値予測に関する研究”, 土木学会論文集 A, Vol.62No.1, pp.78-90, 2006.1

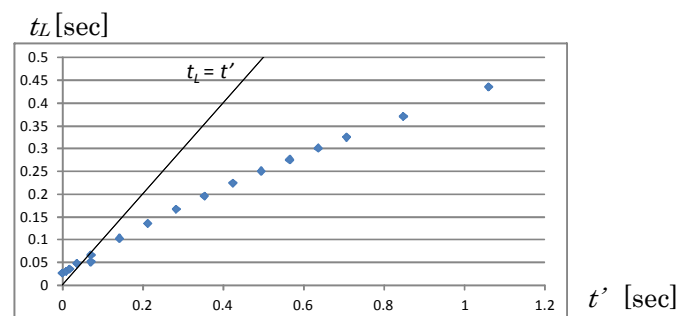


図1 風速の立ち上がり時間と揚力係数のピーク立ち上がり時間, $B/D=1$, 迎角 $10[\text{deg.}]$

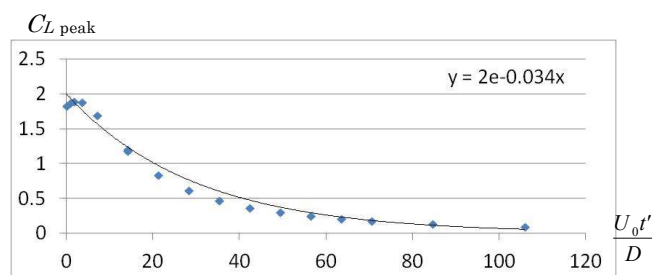
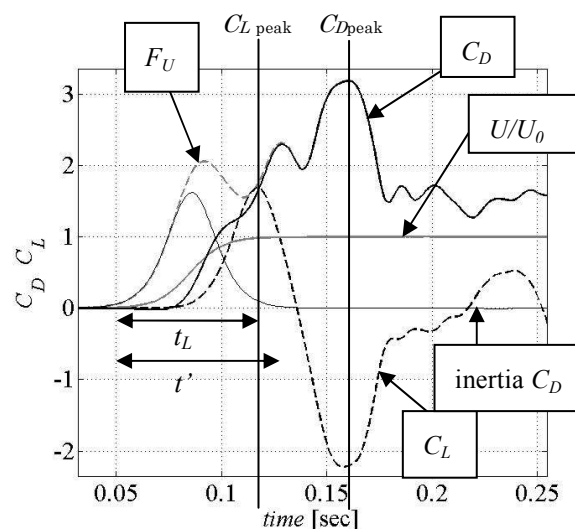
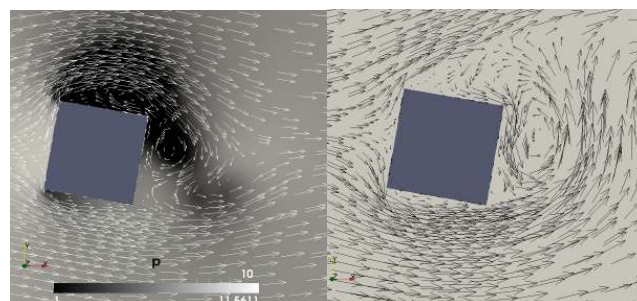


図2 無次元風速立ち上がり時間と揚力係数のピーク値, $B/D=1$, 迎角 $10[\text{deg.}]$



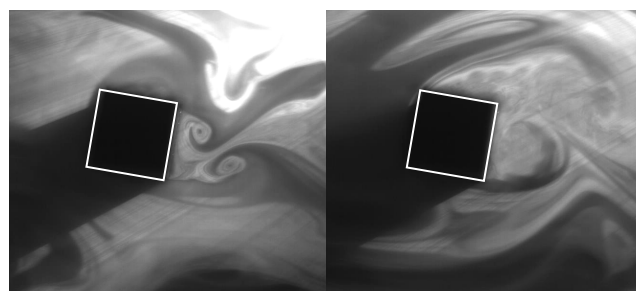
F_U : 風軸方向に作用する無次元化された空気力
inertia C_D : 無次元化された慣性力



(a) 揚力ピーク時

(b) 抗力ピーク時

図3 空気力の過渡特性と空気力ピーク時の流れ場
 $B/D=1$, 迎角 $10[\text{deg.}]$, $U=3[\text{m/s}]$, $t'=0.0706[\text{sec}]$



揚力ピーク時

抗力ピーク時

図4 可視化実験結果, $B/D=1$, 迎角 $10[\text{deg.}]$, $U=3[\text{m/s}]$