

## 風速変化が正方形柱の非定常空気力特性に及ぼす影響

徳島大学大学院 学生員 久延 周平 徳島大学 正員 野田 稔  
 徳島大学大学院 学生員 脇 孝文 徳島大学 フェロー 長尾 文明

### 1. はじめに

近年、日本各地で突風による事故が増え、突風による被害が問題となっているが、研究例は少なく現在もお未解明な部分が多い。過去には種子田ら<sup>1)</sup>がオーバーシュート現象(突風などの急激に風速が増加した時に受ける、非定常空気力の波形が定常値を超過する現象)について検討しているが、流れ場との関連性を詳しく検討した報告はほとんどない。そこで本研究では曳航水槽実験および可視化実験によって突風作用時における正方形柱の非定常空気力特性をより明確にすることを目的とする。ここでは無風から有風へ風速変化させるケースに加えて、より現実的な条件と考えられる有風から有風へ風速変化させるケースの2つについて検討した。

### 2. 実験概要

本研究では設定した初速度から台車を発進させたときの急発進により生じる力を突風により生じる力と見なしている。そこで図-1、図-2に示す水槽(幅420mm×高さ320mm×奥行き7200mm)と台車を用いて、水槽に水が溜まっている状態の実験データより得られる突風により生じる力と慣性力から水槽に水が溜まっていない状態の実験データより得られる慣性力を引くことで突風により生じる力のデータを取得している。また、本実験で用いる供試模型として正方形柱模型(幅20mm×奥行き20mm×高さ250mm)を台車に取り付けており、図-3に示すように迎角(0°から45°まで5°ピッチ)を与えている。実験パターンとしては初速度0m/sから定常速度0.2m/sに風速変化させる条件と初速度0.2m/sから定常速度0.4m/sに風速変化させる条件、初速度0.4m/sから定常速度0.6m/sに風速変化させる条件を行っており、加速時間を0.1、0.2、0.5、1.0sとしてそれぞれの迎角ごとに実験を行った。可視化実験ではポリエチレン粒子(粒径0.5mm~1.0mm)をトレーサとした粒子トレーサ法を採用し、水面に粒子を浮かべて流れの軌跡を観察することで正方形柱模型背後の渦の形成を調べた。



図-1 水槽の外観



図-2 台車の外観

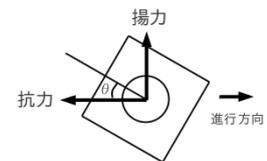


図-3 正方形柱模型の設置角度

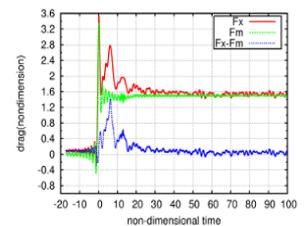
### 3. 結果及び考察

本研究で得た実験値とモリソン式の抗力とを比較し、モリソン公式との差分成分の波形を求めた結果を図-4に示す。モリソン式による無次元非定常抗力  $F_M$  は、速度圧  $F_K$  と加速度圧  $F_I$  の和で表され、次式で求められる。

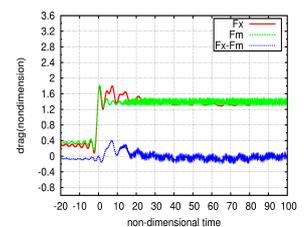
$$F_M = F_K + F_I \quad , \quad F_K = \frac{U(t)^2}{U_1^2} C_d \quad , \quad F_I = \frac{2\tilde{C}_d D}{U_1^2} \frac{\partial U(t)}{\partial t} \quad (1)$$

ここで  $U_1$  は定常速度、 $U(t)$  は速度時刻歴、 $\frac{\partial U(t)}{\partial t}$  は加速度、 $D$  は代表長さ、 $C_d$  は速度に関する抗力係数、 $\tilde{C}_d$  は慣性力係数を表す。なお、図-4は横軸を無次元時間  $t' = \frac{U_1 t}{D}$  ( $t$  は時間)、縦軸を無次元抗力  $F_X, F_M$  で整理したグラフであり、 $U_0$  は初速度を表す。

結果は図-4(a)に示す無風から有風への風速変化の場合では、加速中のオーバーシュート現象が発生するまでは  $F_X$  と  $F_M$  は一致したが、直後のモリソン式では定常値に収まる部分で実験値  $F_X$  にはいくつかのピークが確認できた。図-4(b)に示す有風から有風への風速変化の場合では、無風から有風への風速変化の場合と同様に加速中のオーバーシュートが発生するまで  $F_X$  と  $F_M$  は一致し、直後の定常値に収束する部分では一致しなかったが、加速中のオーバーシュートによるピークは無風から有風への風速変化の場合と比べて顕著に見られなかった。



(a)  $U_0=0, U_1=0.2(\text{m/s})$



(b)  $U_0=0.2, U_1=0.4(\text{m/s})$

図-4 実験値とモリソン式の抗力との差分成分波形(迎角  $\theta=10^\circ$ 、加速時間  $s=0.1\text{s}$ )



(a)  $t' = 6.15$

(b)  $t' = 9.00$

(c)  $t' = 12.5$

図-5 突風作用時の瞬間流れ場 (初速度  $U_0=0\text{m/s}$ , 定常速度  $U_1=0.2\text{m/s}$ , 迎角  $\theta=10^\circ$ , 加速時間  $s=0.1\text{s}$ )

次に図-4 で明らかになったモリソン式と一致しなかった波形  $F'_X (= F_X - F_M)$  が突風作用時に形成される流れ場の影響によって生じると考え、可視化実験より読み取れる流れの抗力と揚力の対応関係を検証する。はじめに可視化実験結果を図-5 に示す。(a), (b), (c) は無次元時間  $t' = 6.15, t' = 9.00, t' = 12.5$  の瞬間の流れを表している。なおこれらは図-6 の  $F'_X$  において、最初のピーク、最初と次のピークの間、次のピークが生じている瞬間から導出した。図-5 (a) は模型の上端からの剥離流が最初に模型に作用した時の様子を示しており、この渦によって抗力および揚力が強い影響を受けていると考えられる。そして図-5 (b) になると先ほどの渦が模型から離れ、新たに下端の剥離流から生じた渦による影響が強くなり、図-5 (c) で再び上端からの剥離流による渦の影響を受けていると推測される。さらに図-6 に揚力  $F_Y$  と  $F'_X$  の関係を示しているが、これからも  $F_Y$  が  $F'_X$  と一致しながら変動していることが確認でき、図-5 に示す力の向きとも一致しており、抗力と揚力は流れの形成による影響を受けていることが分かった。

次にモリソン式による抗力のピーク値を1次ピーク  $F_{MAX}$ 、流れの形成による抗力のピーク値を2次ピーク  $F'_{MAX}$  とし、無次元立ち上がり時間における無次元速度の変化量より次式で求めた平均無次元加速度  $a^*$  を用いてオーバーシュート係数を評価した結果を図-7 に示す。

$$a^* = \frac{dU^*}{dt^*} = \frac{(U_1 - U_0)}{U_1} = (1 - \frac{U_0}{U_1}) \frac{D}{U_1 s} \tag{2}$$

ここで  $U_0$  は初速度、 $U_1$  は定常速度、 $s$  は加速時間、 $D$  は代表長さである。定常値の平均抗力値を  $F_{Steady}$  とし、 $F_{MAX}/F_{Steady}$  より1次ピークのオーバーシュート係数を、 $F'_{MAX}/F_{Steady}$  より2次ピークのオーバーシュート係数を算出した。図-7 から1次ピークのオーバーシュート係数は無風から有風、有風から有風への風速変化の場合のどちらにおいてもほぼ無次元加速度  $a^*$  に比例して同じ勾配で増加する傾向を示している。これは加速中に発生する1次ピークのオーバーシュート係数は加速度に大きく依存しているため、1次ピークのオーバーシュートは単純に加速度に比例して大きくなる傾向があると言える。2次ピークのオーバーシュート係数は無風から有風、有風から有風への風速変化の場合のどちらにおいても  $a^*$  の増加に伴って曲線的に増加し、最終的に収束するような傾向が確認できたが、有風から有風への風速変化の場合のオーバーシュート係数が小さくなることがわかった。これは初期条件が有風であることから、既に流れ場が形成された状態であることが影響していると考えられ、2次ピークは模型周りの流れ場に依存している生じることがわかる。また  $a^*$  が小さいとき、1次ピークより2次ピークのオーバーシュート係数が大きくなり、流れの形成の影響を考慮することがわかった。

4. おわりに

本研究では、正方形柱模型に対して無風から有風へ風速変化させる場合と有風から有風へ風速変化させる場合との違いを検討することを目的とした。その結果は無風から有風および有風から有風の場合の波形において加速中のオーバーシュートの1次ピークに明らかな違いが確認できた。また、1次ピーク発生直後に  $F_M$  と一致しない波形が確認され、流れの形成による影響が確認できた。次に1次ピークと2次ピークのオーバーシュート係数を検討した結果、無風から有風、有風から有風の場合のどちらにおいても1次ピークは  $a^*$  に比例して増加する傾向を示し、2次ピークは曲線的に増加して最終的に収束する傾向を示した。最後に本研究は正方形柱にのみ焦点を当てて検討を行ったが、今後は種々の模型を用いてより多くのケースで検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 種子田定俊, 天本肇, 石井幸治: 静止から急に一定速度で動き出した楕円柱の揚力, 九州大学応用力学研究所所報 第38号, pp.29-35, 1972.

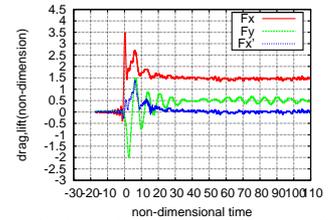


図-6 揚力と流れによる抗力の変動の関係

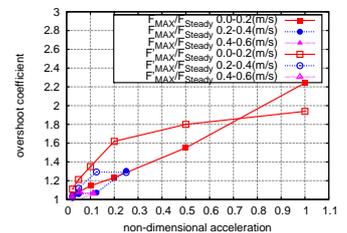


図-7 1次ピークのオーバーシュート係数と2次ピークのオーバーシュート係数の関係 ( $\theta=10^\circ$ )