

## 突風作用時に正方形柱に作用する非定常空気力

徳島大学大学院 学生員 脇 孝文 徳島大学 正会員 野田 稔  
 徳島大学 非会員 荻野 泰彦 徳島大学 正会員 長尾 文明

## 1. はじめに

近年、突風による事故が多発している中、突風に関する研究が増え、少しずつ突風作用時に物体に生じる非定常空気力特性が明らかにされつつある<sup>1)2)</sup>。しかし、未だ未解明な部分は多く、実験・解析とも十分に検討されたわけではない。特に突風研究では、オーバーシュート現象(短時間内に定常値を大きく上回るピーク風力値)についての指摘が多いが、突風作用時に形成される流れ場とオーバーシュート現象との関連性を実験的に調べた報告は少ない。そこで本研究では基本断面である正方形柱に注目し、曳航水槽実験より正方形柱模型に作用する非定常空気力特性を調べ、さらに可視化実験(粒子トレーサ法)より、模型背後の流れ場を明らかにし、突風作用時に流れの形成が正方形柱に及ぼす非定常空気力特性への影響を検討することを目的とした。

## 2. 実験装置および供試模型

本研究では写真-1 に示す水槽(幅 42cm × 高さ 32cm × 奥行き 720cm)を使用した。台車は写真-2 に示すものを使用し、速度  $U$  と加速時間  $s$  によって直線的に速度変化する。また模型に作用する力を計測するため、三分力ロードセルは水槽中央にくるように設置した。本研究では、正方形柱模型を使用し、寸法は図-1、図-2 に示す。また図-2 に示すように、模型に  $0^\circ \sim 45^\circ$  ( $5^\circ$  ピッチ) で迎角  $\alpha$  を与え、各迎角で実験を実施した。

## 3. 実験概要

水槽を用いて台車を静止状態から急発進させ、表-1 に示す条件で実験を行った。模型を急発進させた際に模型には、突風により生じる力と慣性力が作用するため、水中実験(水をためた状態)と空中実験(水のない状態)を 20 回ずつ行い、実験結果に加重移動平均やアンサンブル平均処理を施して、水中実験結果から空中実験結果に含まれる慣性力を差し引いて、突風により生じる力  $F_x$  を求めた。可視化実験では、模型背後の剥離流と渦の形成を確認するために行った。撮影用ビデオカメラをロードセルの隣に固定し、突風作用時の模型背後の流れを撮影した。トレーサには、ポリエチレン粒子(粒径:0.5mm~1.0mm)を用いた。

## 4. 実験結果および考察

水槽実験より得た実験値  $F_x$  と理論値を無次元化して比較を行った(以後  $F_x$ 、 $F_M$  は無次元化したものとする)。理論値は次式に示すモリソン公式<sup>2)</sup>より求めた。

$$F_M = F_k + F_a = \frac{U(t)^2}{U^2} C_d + \frac{2\tilde{C}_d D}{U^2} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (1)$$

ここで  $F_M$  は理論値、 $F_k$  は速度圧による抗力(無次元)、 $F_a$  は加速度による抗力(無次元)、 $U$  は定常風速、 $U(t)$  は風速、 $\partial U/\partial t$  は加速度、 $D$  は代表長、 $C_d$  は速度に関する抗力係数、 $\tilde{C}_d$  は加速度に関する抗力係数を表し、 $C_d$  は  $C_d = 2F_s/\rho U^2 A$  より求めた。 $F_s$  は抗力の定常値を表し、各実験条件の測定時間  $s$  の半分  $s/2$  より後での抗力の平均値より算出した。また  $\tilde{C}_d$  は各条件で  $F_x$  と  $F_M$  のオーバーシュートが最も近くなる値を採用した。

次に、理論値  $F_M$  と実験値  $F_x$  を比較した一例を図-3 に示し、図-4 は図-3 の拡大図である。図の縦軸は無次元抗力、横軸は無次元時間  $t'$  を示す。図-3 と同じ実験条件で迎角  $0^\circ$  の場合、理論値  $F_M$  と実験値  $F_x$  はよく一致した。しかし、図-3 のように迎角  $10^\circ$  を与えた時、理論値  $F_M$  と明らかに一致しない部分が確認できた。この現象は他の迎角でも確認され、オーバーシュートが発生してから定常値に収束するまでに加速中のオーバーシュートとは明らかに異なるピークが存在し、モリソン式とは一致しない波形が存在することが分かった。これらの波形の時刻歴変化を明らかにするために、実験値から理論値を減じて  $F_x - F_M$  として算出した。

次に、非対称条件である  $10^\circ$  やその他の迎角で理論値  $F_M$  に一致しない波形が発生したのは、模型背後で形成される流れ場の影響によると推測した。そこで可視化実験より模型背後に形成される流れ場の様子を撮影し、その一例を写真-3、写真-4 に示す。写真-3、写真-4 はそれぞれ無次元時間  $t'=6.15$ 、 $t'=9.00$  の瞬間の様子を表し、 $F_x - F_M$  の正の最大ピーク、最大ピークと次のピークの間での最小値の瞬間を示している。 $t'=6.15$  の瞬間には上端からの剥離流が最初に模型に作用した様子を示し、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。 $t'=9.00$  の瞬間には、新たに下端から生じた渦による影響を強く受けられていると推測される。図-5

は揚力  $F_y$  と  $F_x-FM$  の変動の関係を示し、これからも揚力  $F_y$  は  $F_x-FM$  と一致しながら変動している事が確認でき、写真-3, 写真-4 に示す力の向きとも対応がとれており、抗力と揚力は流れの影響を強く受けて変動している事が分かった。

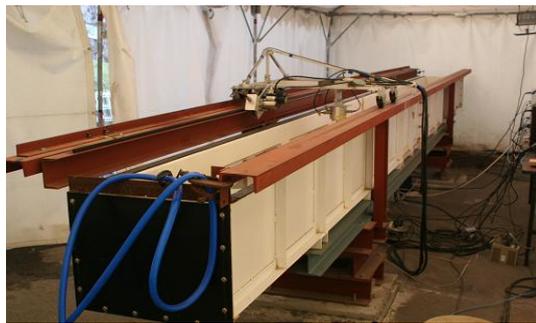


写真-1 水槽概観



写真-2 台車概観

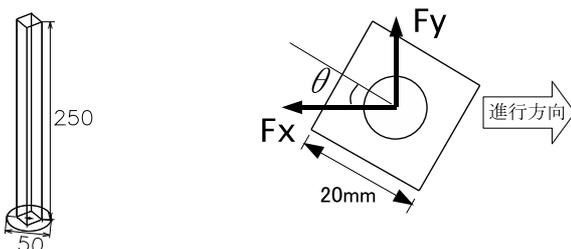


表-1 実験条件

速度 (m/s)	加速時間 (s)					
0.1	0.2					
0.2	0.1	0.2	0.5	1	2	4
0.4	0.1	0.25	0.5	1	2	

図-1 正方形角柱模型の立面図 図-2 正方形角柱模型の平面図

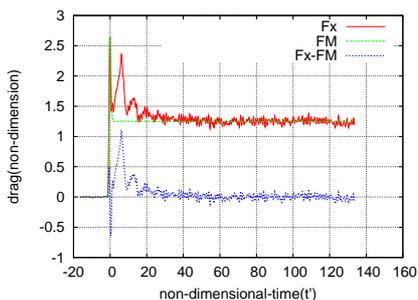


図-3 実験値と理論値の比較  
( $U=0.2(m/s), s=0.1(s), \theta=10^\circ$ )

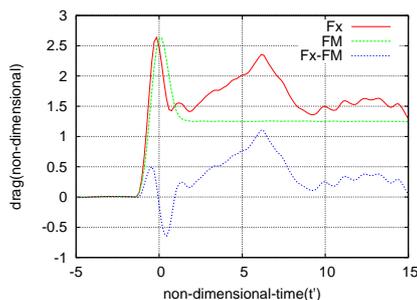


図-4 図-3の拡大図  
( $U=0.2(m/s), s=0.1(s), \theta=10^\circ$ )

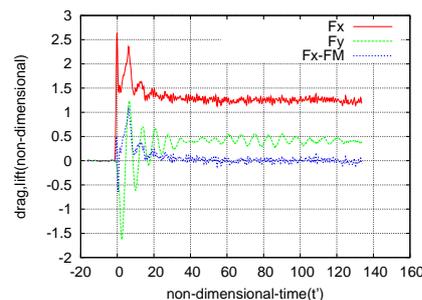


図-5 揚力と  $F_x-FM$  の関係  
( $U=0.2(m/s), s=0.1(s), \theta=10^\circ$ )



写真-3  $F_x-FM$  の正の最大ピーク時での流れ場  
( $U=0.2(m/s), s=0.1(s), t'=6.15$ )



写真-4  $F_x-FM$  の正の最大ピークとその次の正のピーク間の最小値での流れ場  
( $U=0.2(m/s), s=0.1(s), t'=9.00$ )

## 5. 結論

抗力の実験値と理論値の比較の結果、迎角  $0^\circ$  では理論値とよく一致したが、迎角  $10^\circ$  などの非対称な条件では、理論値とは明らかに一致しない波形が確認された。次に可視化実験より、形成される流れ場と抗力および揚力の時刻歴変化との対応関係について検討した。迎角  $10^\circ$  など非対称な条件では、 $F_x-FM$  と揚力  $F_y$  の変動の時刻歴変化がほぼ一致しており、実験値と理論値が明らかに一致しない波形は模型背後で形成される剥離流や渦などによる流れ場の影響を受けていることが確認できた。

今後はモリソン式に新たな項を加えることで、より精度の高い表現が可能になることが期待でき、さらに検討を進めていく必要がある。

## 参考文献

- 川下寛正, 前田潤滋, 吉村健, 鶴則生, 森本康幸: 風力特性に及ぼすステップ関数的突風の影響に関する実験的検討, 日本風工学会誌 (2007)
- 野村卓史, 北川徹哉, 北村直哉: 瞬間的な気流変動下で角柱に作用する抗力変動の解析, 第13回数値流体力学シンポジウム (1999)