

曳航水槽を用いた突風作用時の正方形柱の非定常空気力特性の研究

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 正会員 宗田 和之 徳島大学 正会員 長尾 文明

1. はじめに

近年、突風による脱線事故などの風災害が多発している。本研究では、突風が正方形柱模型に作用した時に生じる非定常空気力特性を曳航水槽を用いて明らかにする。現在、突風のような風速が急変した場合の空気力は、定常状態とは異なっていると指摘されており、特に無次元立ち上がり時間 $dt^*(=Us/D)$ (U : 風速, s : 加速時間, D : 模型寸法) は突風作用時の非定常空気力特性に関係していると言われている。¹⁾²⁾³⁾ 本研究では、オーバーシュート係数は、本質的には風速の加速度で表されると考え、 dt^* のように時間で表現するのは論点が異なっていると考えた。そこで dt^* の逆数が加速度を表すため、本研究では無次元加速度 $a^*(=D/U^2s)$ でオーバーシュート係数を整理した。また流れの形成がオーバーシュート係数に影響を与えることが証明されている⁴⁾ ため、 a^* を用いて整理し、非定常空気力特性について明らかにしていくことを本研究の目的とした。

2. 実験概要

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° ピッチ) で迎角 α を与え、各迎角でそれぞれ実験を実施した。速度と加速時間の実験条件は表-1 に示している。

3. 実験結果及び考察

本研究では、流れの形成による影響を評価するため、理論値と流れの形成によるオーバーシュート係数の評価を行った(以後 F_x , F_M は無次元化したものとする)。最初に、理論値は次式に示すモリソン公式より求めた。

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

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。これまでの研究で、流れの形成が正方形柱の非定常空気力特性に影響することから¹⁾、ここでは非対称場である迎角 10° での正方形柱に生じるオーバーシュート係数に注目する。そこでモリソン式より求めた理論値 F_M のオーバーシュート係数を無次元加速度 a^* で表したものを図-3 に示す。図-3 から明らかのように、多少の誤差はあるもののオーバーシュート係数はほぼ a^* に比例して増加する結果が得られた。これは他の迎角でも同様な傾向を示し、モリソン式によるオーバーシュート係数は、単純に加速度に比例して大きくなると考えられる。

次に流れの形成によるオーバーシュート係数と無次元加速度 a^* の関係を調べた。流れの形成によるオーバーシュート係数は次式より求めた。

$$F'_{MAX} = F'_{xMAX} + F'_k + F'_a = F'_{xMAX} + F'_M \quad (2)$$

ここで F'_{xMAX} は流れによって生じる抗力の最大値、 F'_{MAX} は流れの影響が最大となる時の抗力値、 F'_k と F'_a は F'_{MAX} をとる時の速度圧と加速度圧である。この F'_{MAX} を求めて、オーバーシュート係数 (F'_{MAX}/F_s) を算出した。図-4 に流れの形成によるオーバーシュート係数と無次元加速度 a^* の関係の迎角 10° の例を示す。これよりオーバーシュート係数は a^* の増加に伴い、曲線的に増加し、最終的に収束する傾向が見られ、他の迎角でも同じ傾向が確認できた。

実際のオーバーシュート現象は、モリソン式によるオーバーシュート係数と、流れの形成によるオーバーシュート係数が同時に影響しあって発生している。そこで図-3 と図-4 を重ね合わせたものを図-5 の示し、関係性を調べた。図-5

より a^* が大きいところでは、モリソン式のオーバーシュート係数が大きく、 a^* が小さいところでは、流れの形成によるオーバーシュート係数の方が高い値を示すことがわかる。これは、 a^* が大きい時はモリソン式の加速度項の影響を強く受け、流れの形成の影響が目立たないが、 a^* が小さくなるにつれて、加速度項の影響も減少し、流れの形成による影響の方がより支配的になることを意味している。したがって、モリソン式のみでの評価では a^* が小さい時、過小評価となってしまう、流れの形成による影響を考慮する必要がある。

4. おわりに

本実験では、無次元加速度 a^* で非定常空気力特性を評価した。過去の実験⁴⁾より、流れの形成が非定常空気力特性に影響することがわかっているため、迎角 10° で正方形柱のオーバーシュート係数を評価した。その時の、モリソン式によるオーバーシュート係数と、流れの形成によるオーバーシュート係数の関係性を調べた。その結果、 a^* が大きい時はモリソン式によるオーバーシュート係数が大きくなるが、 a^* が小さいときには流れの形成によるオーバーシュート係数の影響の方が大きくなっていることが明らかになり、流れの形成の影響は無視できない現象であると分かった。今後は、モリソン式に流れの項を設けて、より精度の高い表現ができるようにしていくことが必要になってくる。



写真-1 水槽概観



写真-2 台車概観

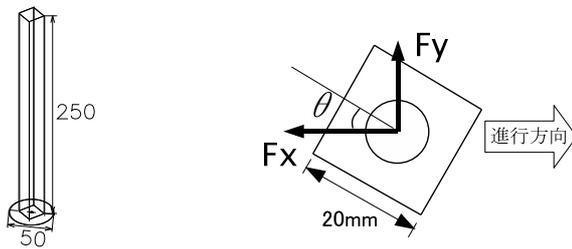


図-1 正方形角柱模型の立面図

図-2 正方形角柱模型の平面図

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

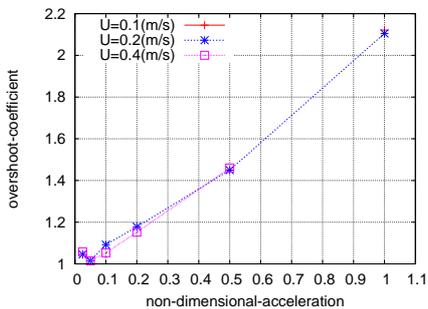


図-3 オーバーシュート係数 (モリソン式) と a^* の関係

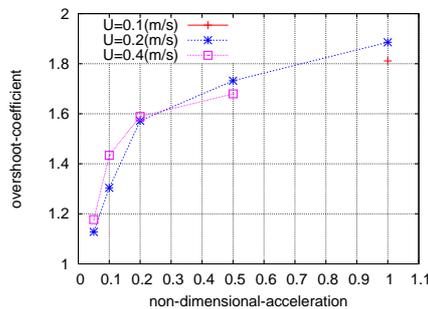


図-4 オーバーシュート係数 (流れの形成) と a^* の関係

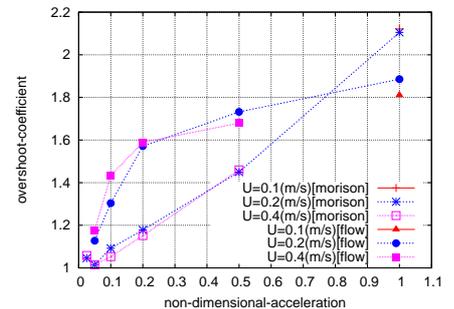


図-5 重ね合わせによるオーバーシュート係数の関連性

参考文献

- 1) 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)
- 2) 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, 風工学シンポジウム (1982)
- 3) 川下寛正, 前田潤滋, 早田友彦, 竹内崇, 中村諭史, 鶴則生: ステップ関数的突風を受ける楕円柱の風力特性, 第20回風工学シンポジウム (2008)
- 4) 脇孝文, 野田稔, 荻野泰彦, 長尾文明: 突風作用時に正方形柱に作用する非定常空気力, 四国支部技術研究発表会 (2010)