

曳航水槽を用いた突風作用時の基本断面の非定常空気力特性についての研究

徳島大学大学院 学生員 ○脇 孝文 徳島大学 正員 長尾 文明
 徳島大学 正員 野田 稔 徳島大学 正員 宗田 和之

1. はじめに

近年、突風によって電車脱線事故など様々な災害が発生しているが、風速が急変した場合の空気力は、定常状態のものとは異なっていることが指摘されている。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) が突風作用時の非定常空気力特性に関係しているといわれている。本研究では曳航水槽実験を用いて突風作用時の非定常空気力特性について検討することを目的とする。特に曳航水槽実験では過去に多く行われた風洞実験¹⁾²⁾では再現不可能な短い無次元立ち上がり時間の条件の実験結果も取得できるため、曳航水槽実験結果と過去の風洞実験結果(野村ら³⁾, 前田ら⁴⁾)を比較して、基本断面の突風作用時の非定常空気力特性を検証することにした。

2. 実験概要

本研究では写真-1に示す幅42cm高さ38cm奥行き720cmの水槽を用いた。台車は写真-2に示すものを使用し、ACサーボモータを動力として、加速時間の間、時間に対して速度を直線的に変化すなわち加速度一定で移動させることができる。また模型に作用する力を計測するロードセルは、水槽中央にくるように台車下部に設置した。本実験では図-1、図-2に示す、正方形断面と楕円形断面の模型を使用した。また、どちらの模型も模型下部から225mm上まで水に浸水させて実験を行った。

本実験では水槽を用いて、台車を静止状態から急発進させた時に、模型に急発進で作用する力を、突風で作用する力と見立て、表-1、表-2に示す条件で実験を行った。また模型を急発進させた際には急発進で作用する力に加えて慣性力が発生するため、水中実験結果(水をためた状態で実験)と空中実験結果(水のない状態で実験)をそれぞれ20回ずつ取得して、それぞれの実験結果に加重移動平均とアンサンブル平均の処理を施して、水中実験結果から慣性力を除いて、突風により生じる力 $F(t)$ を求めた。



写真-1 水槽概観



写真-2 台車概観

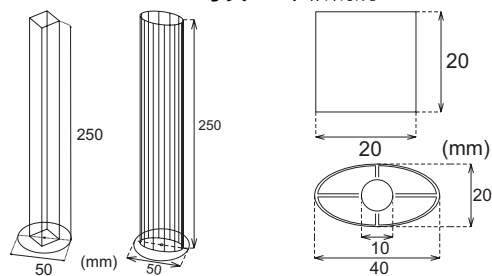


図-1 供試模型の立面図

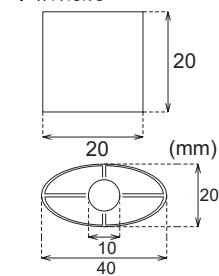


図-2 供試模型の断面図

表-1 実験条件(正方形断面)

速度(m/s)	加速時間(s)
0.025	0.2
0.05	0.1, 0.2
0.1	0.1, 0.4
0.2	0.05, 0.2
0.25	0.32 ~ 8
0.4	0.1 ~ 5

表-2 実験条件(楕円柱断面)

速度(m/s)	加速時間(s)
0.20	0.2 ~ 8
0.35	0.114 ~ 4.571
0.40	0.1 ~ 4

3. 実験結果及び考察

実験より得た測定値 $F(t)$ と理論値 $F_p(t)$ を比較した。理論値はモリソン公式³⁾より求め、次式に示す。

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

ここで $F_p(t)$ は抗力の理論値, F_k は速度圧による抗力, F_a は加速度による抗力, ρ は水の単位体積重量, U は曳航速度(風速), $\partial U / \partial t$ は加速度, A は模型の投影面積(代表長さ×模型の浸水深さ), D は代表長さ, C_d は速度に関係する抗力

係数, $\tilde{C}_d$ は加速度に関する抗力係数を表し, C_d は $C_d = 2F_{steady}/\rho U^2 A$ より求めた. ここで F_{steady} は実験結果の抗力の定常値である. なお F_{steady} は, 各実験条件の台車の速度が定常速度 U の $1/2$ になった瞬間 (グラフ上では $t=0$ の時) から, 加速時間 s 分の時間が経過した後 (グラフ上では $t=s$ より後) の抗力の平均値により算出した. また $\tilde{C}_d$ は各実験条件ごとに $F(t)$ と $F_p(t)$ のオーバーシュートを比較しながら最も近くなる値に決定した. 以上の計算より, 各模型の F_k , F_a を図-3, 図-4 に示す速度と加速度のデータより求め, 測定値 $F(t)$ と比較した一例を図-5, 図-6 に示す. これより, F_k は抗力の定常部分, F_a はオーバーシュート部分を構成していることが分かる. そこで図-5, 図-6 より, 各断面形状の $F(t)$ と $F_p(t)$ の比較を行う. まず正方形断面では, オーバーシュート部分はほぼ一致していることが確認でき, 定常状態では $F(t)$ に若干の揺れがあるが $F_p(t)$ とほぼ一致しており, 結論として $F(t)$ と $F_p(t)$ がほぼ一致したと言える. 次に, 楕円柱断面では, オーバーシュート部分は $F_p(t)$ と比較した時, $F(t)$ の発生に若干の遅れが見られ, 緩やかにオーバーシュートが発生しているといえ, 結論として $F(t)$ と $F_p(t)$ は一致しなかったといえる.

次に, 測定結果より各模型の無次元立ち上がり時間 dt^* とオーバーシュート係数 F_{peak}/F_{steady} の関係について検証した. 各模型の dt^* と F_{peak}/F_{steady} の関係を図-7, 図-8 に示す. ここで F_{peak}/F_{steady} は抗力のピーク値 F_{peak} を定常値 F_{steady} で割った値で表される. 正方形断面の抗力の測定結果では, dt^* が大きいとき, F_{peak}/F_{steady} は小さくなり, dt^* が小さいとき, F_{peak}/F_{steady} は大きくなる傾向が認められた. また野村ら³⁾の結果と比較しても, ほぼ同じ傾向になることが分かった. 次に, 楕円柱断面の抗力の測定結果でも, 正方形断面と同様に dt^* の増加に対して F_{peak}/F_{steady} が減少するという傾向が確認できた. しかし前田ら⁴⁾の結果と比較すると, dt^* が小さい範囲では, 本実験結果の方が F_{peak}/F_{steady} が小さくなることが確認できた.

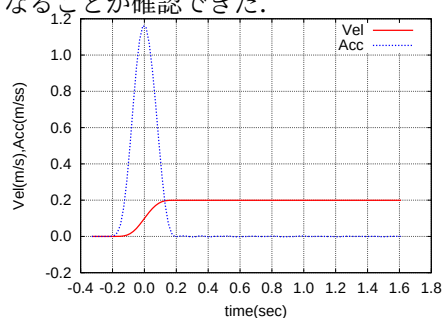


図-3 速度と加速度 (正方形断面)
($U=0.2(\text{m/s}), s=0.2(\text{s}), dt^*=2$)

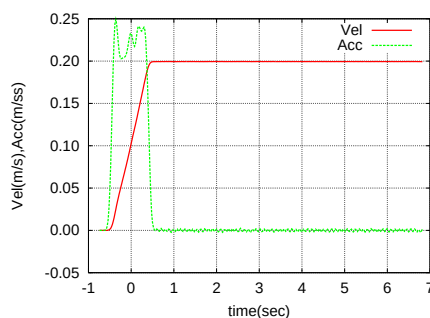


図-4 速度と加速度 (楕円柱断面)
($U=0.2(\text{m/s}), s=1(\text{s}), dt^*=5$)

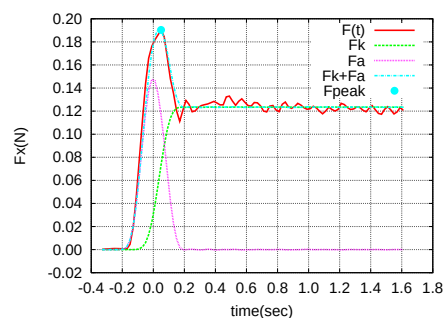


図-5 抗力比較 (正方形断面)
($U=0.2(\text{m/s}), s=0.2(\text{s}), dt^*=2$)

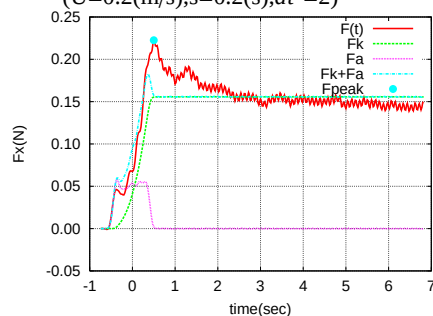


図-6 抗力比較 (楕円柱断面)
($U=0.2(\text{m/s}), s=1(\text{s}), dt^*=5$)

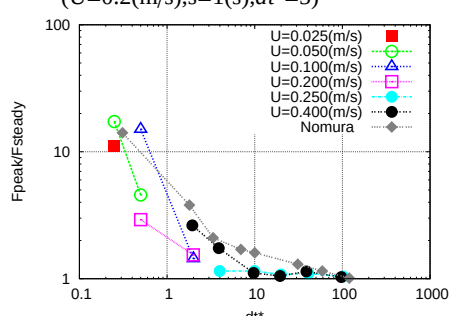


図-7 正方形断面模型 (抗力)

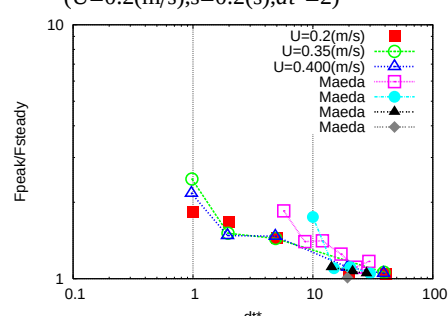


図-8 楕円柱断面模型 (抗力)

4. おわりに

本実験より各断面形状模型の抗力の測定値 $F(t)$ と理論値 $F_p(t)$ の比較と, 無次元立ち上がり時間 dt^* とオーバーシュート係数 F_{peak}/F_{steady} の関係について検証した結果, 正方形断面では, 野村ら³⁾の結果との比較も加えてほぼ一致したといえる. 楕円柱断面では, 前田らの⁴⁾の結果と比較しても, ほぼ一致していないことが確認できた.

以上より, 本実験では, 風洞実験では得られない dt^* の小さい実験結果のとき, 各模型で dt^* が小さい時に F_{peak}/F_{steady} が大きくなり, dt^* が大きい時に F_{peak}/F_{steady} が小さくなる傾向を確認できた. 今後は, 楕円柱模型での前田ら⁴⁾との実験結果の違いについて検証していく必要があり, さらに電車断面模型などの模型を用いて非常定空気力特性を検討する必要がある.

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) 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)
- 4) 川下寛正, 前田潤滋, 早田彦彦, 竹内崇, 中村論史, 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)