

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の計測

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⁾)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. 実験装置及び供試模型

本研究では写真-1に示す幅 51cm 高さ 40cm 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、モータを動力としており、速度と加速時間によって直線的に速度変化する。また模型に働く力を計測するための AC サーボモータ、ロードセルは水槽の中央にくるように台車下部に設置した。ここでは、正方形断面の模型を使用した。模型寸法は図-1、図-2に示す。また模型下部から 225mm 上のところまで浸水させて実験を行った。

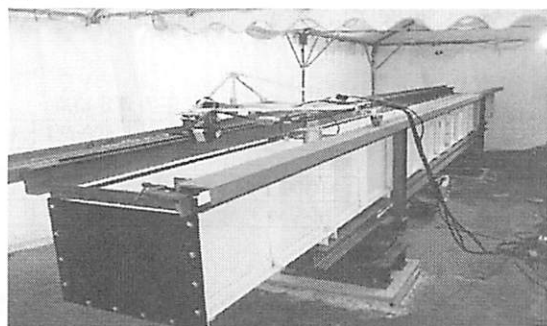
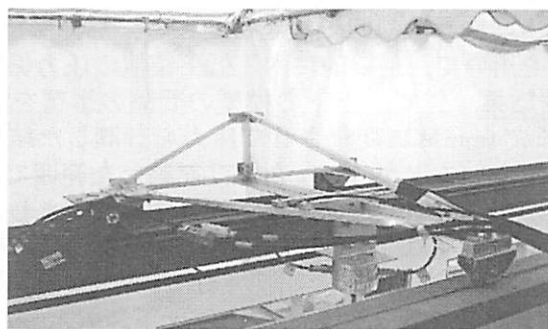


写真-1 水槽概観

写真-2 台車概観
表-1 実験条件

速度(m/s)	加速時間(s)
0.025	0.2
0.05	0.1, 0.2
0.1	0.1, 0.4
0.2	0.05, 0.2
0.25	0.32, 0.8, 1.6, 3.2, 8
0.4	0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5

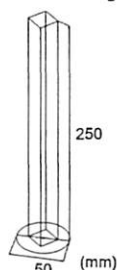


図-1 角柱模型の立面図

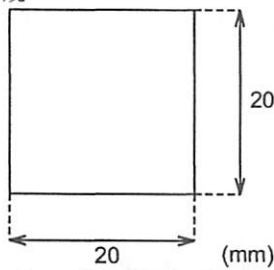


図-2 角柱模型の断面図

3. 実験概要

本実験では水槽を用いて静止状態から台車を急発進させた時に、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やアンサンブル平均の処理を施して、水中実験結果から空中実験結果に含まれる慣性力を除いて、突風により生じる力 F_x を求めた。

4. 実験結果及び考察

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

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

ここで F_x は測定値, 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 は速度に係す

る抗力係数、 $\bar{C}_d$ 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。ここで F_s は実験結果の抗力の定常値である。なお F_s 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 $\bar{C}_d$ は各実験条件ごとに F_x と F_k+F_a のオーバーシュートを照合しながらもっとも近くなる値に決定した。以上の計算より、 F_k 、 F_a を図-3に示す速度と加速度のデータより求め、測定値 F_x と比較した一例を図-4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-4より、模型の F_x と F_k+F_a の比較を行う。まず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_x に若干の揺れがあるが F_k+F_a とほぼ一致しており、結論として F_x と F_k+F_a がほぼ一致したと言える。次に dt^* と抗力係数 C_d 、 $\bar{C}_d$ の関係を図-5、図-6に示す。はじめに dt^* と C_d の関係をみると、 dt^* に関係なく C_d はほぼ一定の値を示す結果となった。 dt^* と $\bar{C}_d$ の関係は、 dt^* が大きくなると $\bar{C}_d$ が小さくなると確認できた。

次に本研究では、測定結果より無次元立ち上がり時間 dt^* とオーバーシュート係数 F_p/F_s の関係について検証した。模型の dt^* と F_p/F_s の関係を図-7に示す。ここで F_p/F_s は抗力のピーク値 F_p を定常値 F_s で割った値で表される。そこで角柱の抗力の測定結果では、 dt^* が大きいとき、 F_p/F_s は小さくなり、 dt^* が小さいとき、 F_p/F_s は大きくなる傾向が確認でき、さらに野村ら³⁾の結果と比較したとき、ほぼ同じ傾向になることが分かった。

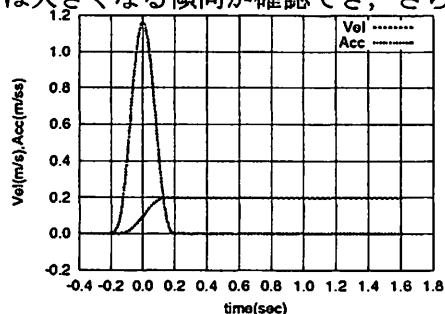


図-3 速度と加速度
($U=0.2(\text{m/s}), s=0.2(\text{s}), dt^*=2$)

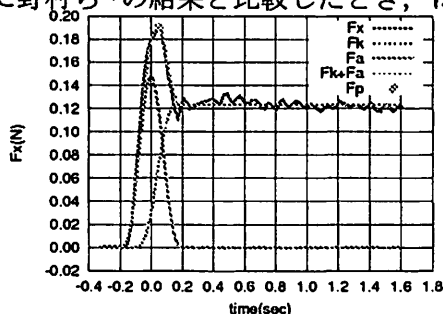


図-4 抗力比較
($U=0.2(\text{m/s}), s=0.2(\text{s}), dt^*=2$)

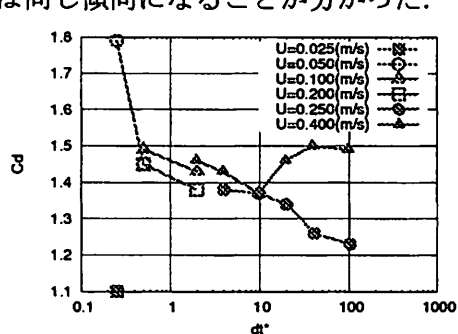


図-5 無次元立ち上がり時間と C_d

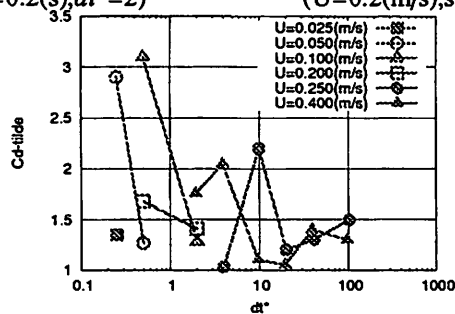


図-6 無次元立ち上がり時間と $\bar{C}_d$

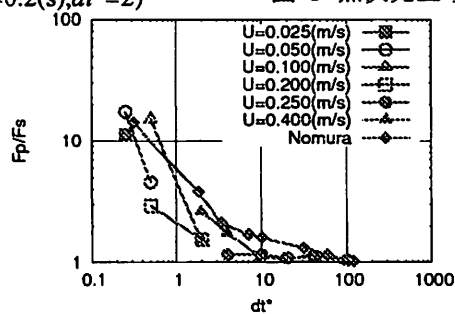


図-7 角柱模型(抗力)

5. おわりに

実験より得た抗力の測定値と理論値の比較を行った時、結論として測定値 F_x と理論値 F_k+F_a がほぼ一致した。次に dt^* と C_d については、 C_d は dt^* に関係なくほぼ一定の値を示し、 dt^* は $\bar{C}_d$ は dt^* が大きくなると $\bar{C}_d$ が小さくなると確認できた。また測定結果より、模型の抗力の dt^* と F_p/F_s の関係について検討した結果、 dt^* が小さい時に F_p/F_s が大きくなり、 dt^* が大きい時に F_p/F_s が小さくなる傾向が確認でき、野村ら³⁾の結果と測定結果を比較した時、ほぼ同じ傾向にあることが確認できた。

今回の曳航水槽実験で測定値の定常部分に若干の揺れが見られたのは、モータの揺れが原因であると考えられ、今後モータの揺れを減衰させ、さらに電車断面模型などの模型を用いて、種々の模型に作用する非定常空気力特性を検討する必要がある。また今回手作業で求めた $\bar{C}_d$ の求め方についても検討していく必要がある。

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)