# 実験用小型風洞の性能改善 圧力損失の低減 Improvement of Flow Field Characteristics of Small Wind Tunnel **Reduction of Pressure Drop**

○永井健太<sup>1</sup>, 大竹智久<sup>2</sup> \*Kenta Nagai<sup>1</sup>, Tomohisa Ohtake<sup>2</sup>

Abstract: The purpose of this study is to investigate pressure drop in a small wind tunnel and to reduce pressure drop. We estimate the pressure drop on each section of the wind tunnel. The pressure drop caused by two screens is the largest in the wind tunnel, and the pressure drop amounts to 86.3 % of total pressure drop. The pressure drop caused by sudden expansion part is the second largest in the wind tunnel, and the pressure drop amounts to 9.00 % of total pressure drop. The screens can't change because of influencing turbulence characteristics. If flow guide walls are installed in the sudden expansion part, the pressure drop is reduced. We will investigate actual pressure drop of each section and compare actual pressure drop with estimated pressure drop.

1. はじめに

近年、災害現場などの人が容易に立ち入ることので きない危険な場所における情報収集の手段として、無 人航空機(UAV:Unmanned Air Vehicle)や超小型航空機 (MAV: Micro Air Vehicle)が活用されている. これらの 航空機は翼弦長を代表長さとするレイノルズ数が 104~105程度の低レイノルズ数領域を飛行しており、 レイノルズ数が10<sup>6</sup>以上の場合と比較して翼周りの流 れ場や翼の失速特性が異なることが知られている.

村松・大竹・菊池研究室では、川上が低レイノルズ 数領域における翼周りの流れ場の可視化を目的とした 小型風洞を設計した[1].小型風洞を様々な研究に用い るために、研究に合わせた改良を行う場合や、新たに 小型風洞を設計する場合を考慮し、本風洞の特性資料 を残しておく必要がある.

したがって、本研究では小型風洞の圧力損失の低減 を目的とするとともに、小型風洞の特性資料を提供す ることを目的として、風洞各部における圧力損失の推 定および圧力損失を低減する改良の検討を行ったので 報告する.

小型風洞について 2.

小型風洞の全体図を Figure 1 に示す.本風洞は測定 部の断面寸法が150 mm × 150 mmの吹出型風洞であ り、測定部における風速を5 m/sとすることを目標と して設計されている. 送風機には山洋電機社製 DC フ ァン 109E1724C501 を用いており,最大流量は 9.9 m<sup>3</sup>/min, 最大静圧は308.0 Paである.

1:日大理工・学部・航宇 2:日大理工・教員・航宇

Figure 1. 150 mm  $\times$  150 mm Wind Tunnel

#### 圧力損失の推定および考察 3.

測定部風軸中心における風速を5 m/sとしたときの 風洞各部における圧力損失の推定値を Table 1 に示す. 3.1 拡散胴

拡散胴の圧力損失係数Kpは次式で求められる<sup>[2]</sup>.  $K_D = K_f + K_e$ 

ここで、K<sub>f</sub>は摩擦による損失、K<sub>e</sub>は拡大による損失で ある. K<sub>f</sub>, K<sub>e</sub>はそれぞれ次式で求められる.

$$K_f = \left(1 - \frac{1}{A_D}\right) \frac{\lambda_D}{8\sin\theta} \tag{2}$$

$$K_e = K_\theta \left(\frac{A_D - 1}{A_D}\right)^2 \tag{3}$$

$$K_{\theta} = 0.1222 - 0.04590 \frac{\theta}{2} + 0.02203 \left(\frac{\theta}{2}\right)^{2} + 0.003269 \left(\frac{\theta}{2}\right)^{3} - 0.0006145 \left(\frac{\theta}{2}\right)^{4}$$
(4)

$$-0.00002800\left(\frac{\delta}{2}\right) + 0.00002337\left(\frac{\delta}{2}\right)$$
  
 $f, A_{D}$ は拡散胴の入口と出口の比, $\theta$ は拡散胴の

ここで、 $A_D$ は拡散胴の入 と田に 広がり角、 $\lambda_D$ は管摩擦係数である. 管摩擦係数 $\lambda_D$ の計 算にはブラジウスの式を用いた.

3.2 整流格子

整流格子の圧力損失係数K<sub>H</sub>は次式で求められる<sup>[2],[3]</sup>.

$$K_H = \lambda_H \left(\frac{L_H}{D_H} + 3\right) \left(\frac{1}{\beta_H}\right)^2 + \left(\frac{1}{\beta_H} - 1\right)^2 \quad (5)$$

$$\lambda_H = 0.375 \left(\frac{r}{D_H}\right)^{0.4} Re_r^{-0.1} \tag{6}$$

ここで、 $D_H$ はハニカムの内径、 $L_H$ ハニカムの長さ、 $\beta_H$ は ハニカムの開口比である.開口比 $\beta_H$ は次式で求められる.

$$\beta_H = \frac{0.906 \times D_H^2}{l_H^2}$$
(7)

ここで、 $l_H$ はセルのピッチである.また、 $Re_r$ はハニカム表面の平均粗さを代表長さとしたレイノルズ数である.

本風洞には外径4.5 mm, 厚さ0.1 mmのストローを俵 積みしたハニカムを1段設置している.

### 3.3 整流金網

整流金網の圧力損失*Ps*は,石塚の研究結果<sup>(4)</sup>を基に 計算した.本風洞には2種類の金網(メッシュ数 M16, M35)をそれぞれ1枚ずつ設置している.金網の抵抗係 数*Ks*は次式で求められる.

$$K = 28 \left( Re_d \frac{\beta^2}{1-\beta} \right)^{-0.95} \tag{8}$$

ここで, *Re*<sub>d</sub>は金網の線径を代表長さとするレイノルズ 数, β<sub>s</sub>は開口比である.開口比β<sub>s</sub>は次式で求められる.

$$\beta_S = \left(1 - \frac{d}{l_S}\right)^2 \tag{9}$$

ここで,dは金網の線径,l<sub>s</sub>は金網のピッチである. 3.4 縮流胴

縮流胴の圧力損失係数Kcは次式で求められる<sup>[2]</sup>.

$$K_C = 0.32\lambda_C \frac{L_C}{A_C} \tag{10}$$

ここで、 $\lambda_c$ は管摩擦係数、 $L_c$ は縮流胴の長さ、 $A_c$ は縮 流胴出口の面積である. 管摩擦係数 $\lambda_c$ の計算にはブラ ジウスの式を用いた.

3.5 急拡大部分

急拡大部分の圧力損失係数K<sub>SE</sub>計算には,管の断面積 が急に変化する場合の損失の計算式を用いた.

$$K_{SE} = \xi_{SE} \left( 1 - \frac{A_{SE1}}{A_{SE2}} \right)^2 \tag{11}$$

ここで、 $A_{SE1}$ 、 $A_{SE2}$ は、それぞれ急拡大部分入口、出口の面積である.また、 $\xi_{SE}$ は急拡大損失係数であり、 $\xi_{SE} = 1$ とした.

Table 1. Estimated Pressure Drop

拡散胴 <i>P<sub>D</sub></i> [Pa]	0.367
整流格子 P <sub>H</sub> [Pa]	0.111
整流金網 M16 P <sub>S M16</sub> [Pa]	0.933
整流金網 M35 P <sub>S M35</sub> [Pa]	12.3
縮流胴 P <sub>C</sub> [Pa]	0.237
急拡大部分 P <sub>SE</sub> [Pa]	1.38
合計 P <sub>Total</sub> [Pa]	15.3

Table 1 より,整流金網の圧力損失の合計が全体の 86.3%を占めていることがわかる.特に,M35の金網 は1枚のみで全体の80.2%を占めている.また,急拡 大部分の圧力損失は全体の9.00%を占めている.その ため,これら2箇所の改良を検討する.しかし,整流 金網の改良については測定部における乱れ度に影響す るため,圧力損失低減のための改良は難しい.一方で, 急拡大部分については,整流胴よりも上流側にあるた め,改良を行うことができる.急拡大部分に整流壁を 設置し,断面積を緩やかに変化させることで,圧力損 失を低減させることができる.断面積の広がり角が20 度となるような整流壁を設置することにより,急拡大 部分の圧力損失は現在の1/5程度にすることが可能で ある.また,ファンの性能を基に計算した圧力損失は 15.9 Paであり,推定値との誤差は3.77%である.

## 4. まとめ

風洞各部の圧力損失を推定した結果,本風洞の圧力 損失は15.3 Paであり,整流金網が86.3%,急拡大部分 が9.00%を占めていることがわかった.今後は風洞各 部における実際の圧力損失の値を測定し,推定の妥当 性を確かめるとともに,圧力損失を低減させる改良を 行う予定である.

#### 参考文献

[1] 川上柚子 他:「光学的計測を目的とした小型風洞の 基本特性」, 2015

[2] Balow, J. B. 他: LOW-SPEED WIND TUNNEL TESTING THIRD EDITION, pp.81-83, pp.90-91, pp.98
[3] Eckert, W. T. 他: "Aerodynamic Design Guidelines and Computer Program for Estimation of Subsonic Wind Tunnel Performance", NASA TN D-8243, 1976

[4] 石塚勝:「低レイノルズ数域における金網の流体抵抗」,日本機械学会論文集 B 編,52 巻,484 号,1986