

# 令和3年度12月第1週報告書

報告書 NO.08 - 1 2021/12/2 来代 勝胤

## 報告内容

1. 進捗状況
2. 実験装置の製作
3. 実験結果
4. 実験装置のたわみ量とひずみの算出
5. ひずみゲージの選定について

### 1 進捗状況

簡易的な実験装置を製作し、実験を行った。また、実験装置のたわみ量とひずみセンサ取付部のひずみ量について材料力学の理論から算出した。

### 2 実験装置の製作

作用力方向の違いによる影響を調べるため、現在の実験装置を用いて仮実験を行うこととした。仮実験を行うにあたり、以下の Fig.1 の実験装置を作成した。

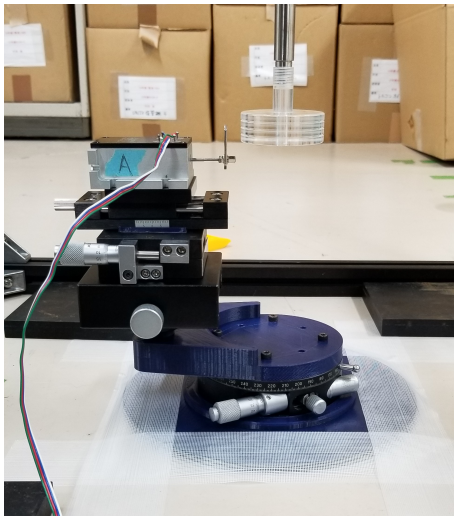


Fig.1 Experimental device

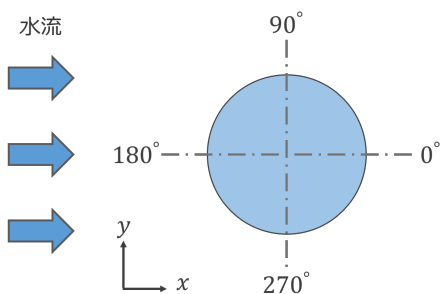


Fig.2 Axis of experimental equipment

### 3 実験結果

製作した実験装置を用いて、今回は、30 度ずつ作用力方向を変化させ計 12 回の測定を行った。グラフにプロットしている値は、採用点とその後 9 秒間の計 10 秒間の平均値を使用している。また、ロードセルの出力電圧に関して、オフセット値を測定開始前 30 秒間の平均値とし、測定結果に適用している。

#### 3.1 各角度における測定結果

以下の Fig.23 ~ Fig.34 に各角度におけるひずみセンサの出力電圧の測定結果を示す。

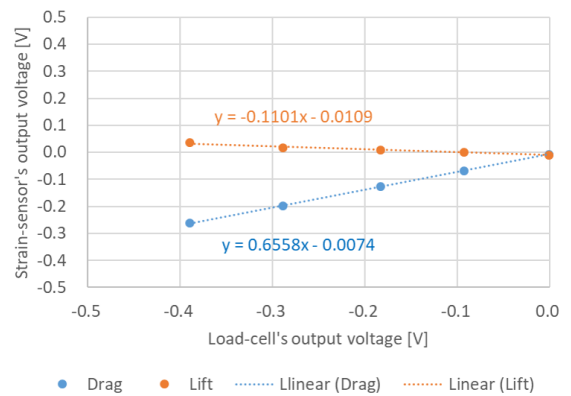


Fig.3 Acting force from 0 degree direction

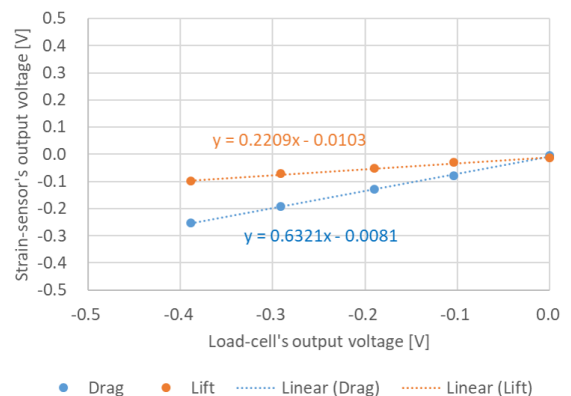


Fig.4 Acting force from 30 degree direction

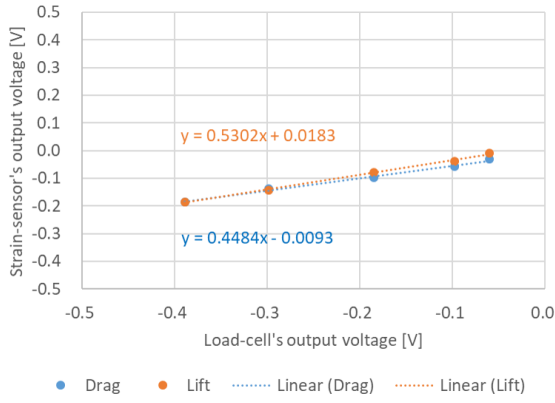


Fig.5 Acting force from 60 degree direction

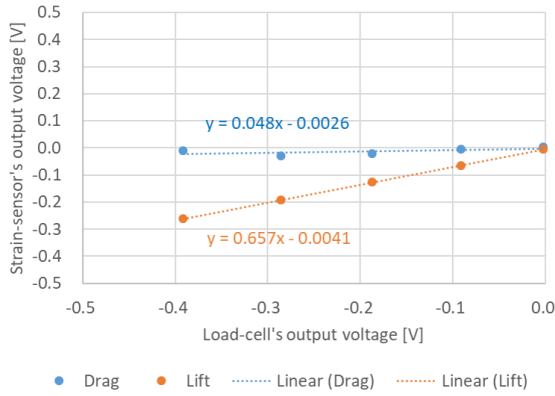


Fig.6 Acting force from 90 degree direction

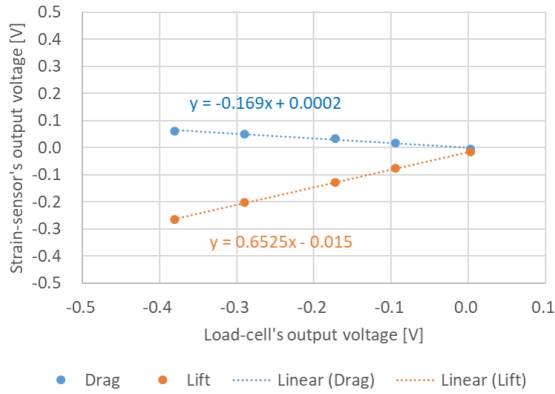


Fig.7 Acting force from 120 degree direction

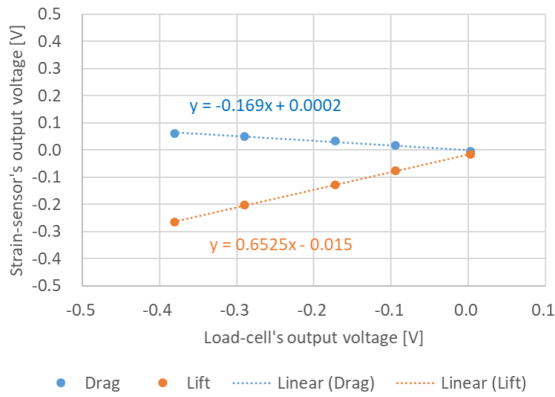


Fig.8 Acting force from 150 degree direction

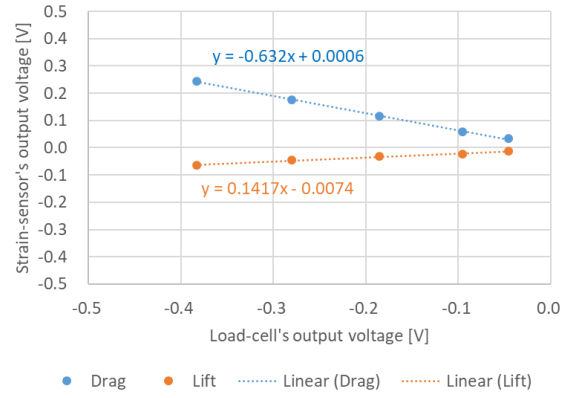


Fig.9 Acting force from 180 degree direction

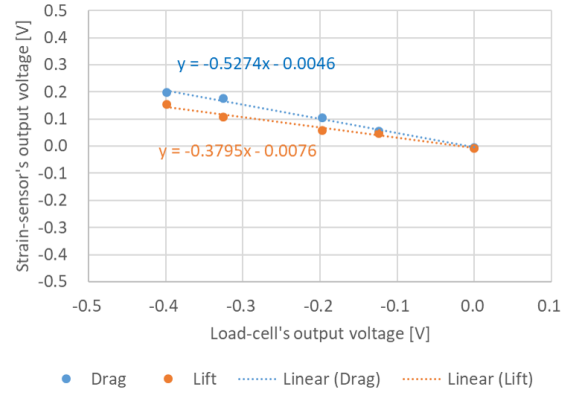


Fig.10 Acting force from 210 degree direction

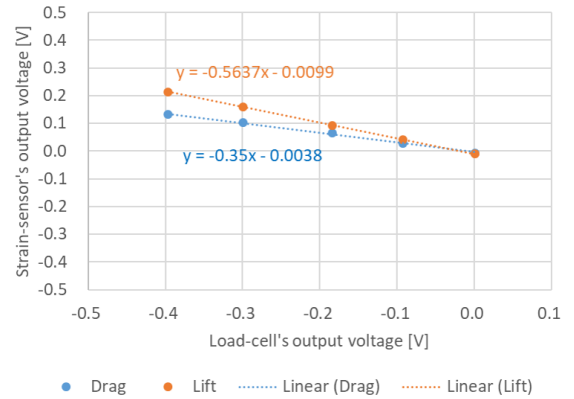


Fig.11 Acting force from 240 degree direction

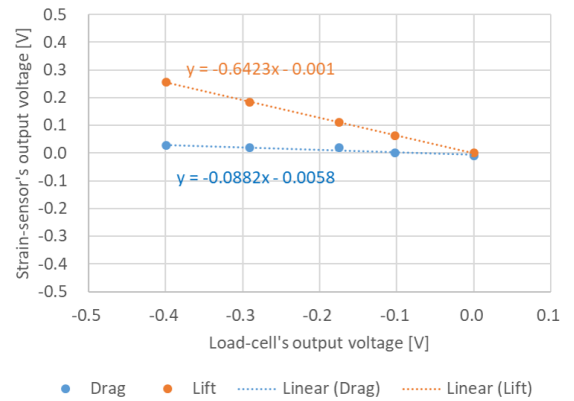


Fig.12 Acting force from 270 degree direction

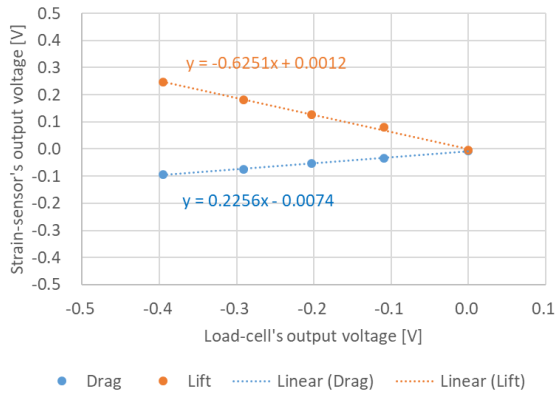


Fig.13 Acting force from 300 degree direction

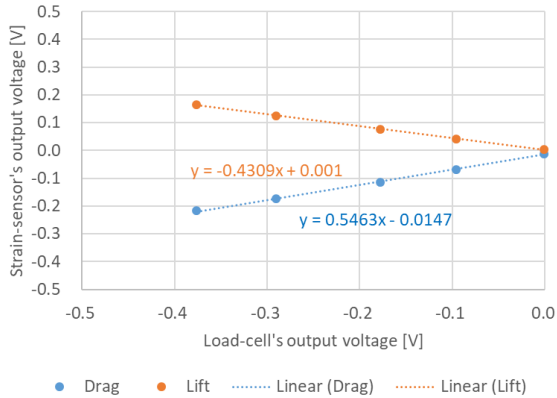


Fig.14 Acting force from 330 degree direction

### 3.2 作用力の角度と出力電圧の傾きの関係

Fig.23～34 について，抗力・揚力のそれぞれの近似直線の傾きと作用力方向の関係について以下の Table.1，Fig.35 に示す．

また，作用力方向の違いによって出力電圧にどのような影響があるかを調べるため，以下のように抗力と揚力の勾配比を算出した．

抗力・揚力の勾配比

( $L/D$  : 勾配比) =

$$\frac{|(L : \text{揚力側出力電圧の近似直線の傾き})|}{|(D : \text{抗力側出力電圧の近似直線の傾き})|}$$

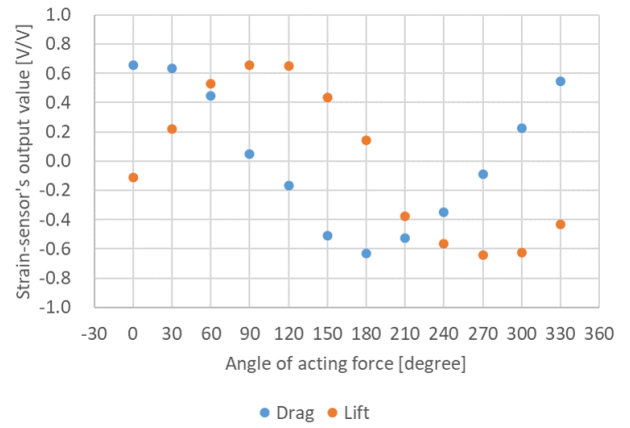


Fig.15 Experiment results

Table 1 Experiment results of gradient ratio

Angle [deg]	D [V/V]	L [V/V]	L/D [-]
0	0.656	-0.110	0.168
30	0.632	0.221	0.349
60	0.448	0.530	1.182
90	0.048	0.657	13.688
120	-0.169	0.653	3.861
150	-0.510	0.437	0.856
180	-0.632	0.142	0.224
210	-0.527	-0.380	0.720
240	-0.350	-0.564	1.611
270	-0.088	-0.642	7.282
300	0.226	-0.625	2.771
330	0.546	-0.431	0.789

### 3.3 理論値との比較

理論上の勾配比についても以下のように算出した．作用力ベクトルの大きさを 1 として，それぞれの角度 (30 度ごと) に供試体に作用したときに加わる作用力ベクトルの長さを抗力・揚力方向について算出し，その比をとることで理想的な作用力の比，すなわち勾配比を算出することができる．以下の Table.2 にその算出結果を示す．

Table 2 Calucuration of gradient ratio

Angle [deg]	Drag [-]	Lift [-]	L/D [-]
0	1.000	0.000	0.000
30	0.870	0.500	0.580
60	0.500	0.870	1.730
90	0.000	1.000	$\infty$
120	-0.500	0.870	1.730
150	-0.870	0.500	0.580
180	-1.000	0.000	0.000
210	-0.870	-0.500	0.580
240	-0.500	-0.870	1.730
270	0.000	-1.000	$\infty$
300	0.500	-0.870	1.730
330	0.870	-0.500	0.580

Drag 及び Lift は，作用力ベクトルの大きさ [-] を表す

Table.1 及び Table.2 の  $L/D$  算出結果の関係を以下の Fig.36 に示す．

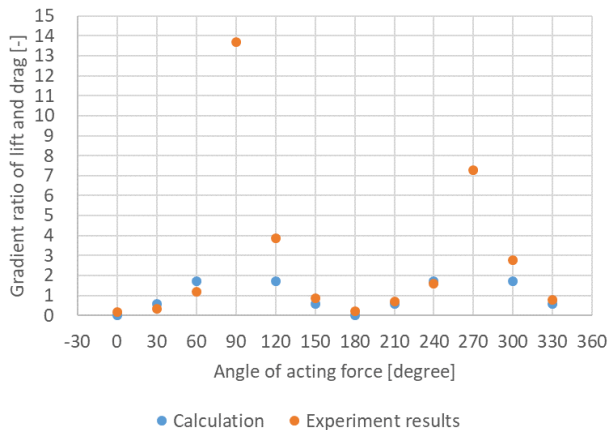


Fig.16 Gradient ratio of lift and drag

## 4 実験装置のたわみ量とひずみの算出

試験用のひずみセンサを選定するにあたり，ひずみセンサの取付部の作用力によるひずみ量を調べる必要がある．ここで，簡単のため可能な限り切りのいい数字を使っておお

よその変位量を算出した．

### 4.1 算出結果

- 先端のたわみ量 : 0.151 [mm]
- 取付軸表面の伸縮量 :  $1.029 \times 10^{-3}$  [mm]
- 取付軸表面のひずみ :  $5.717 \times 10^{-6}$  [-]

### 4.2 算出条件

- アルミニウムの弾性係数 :  $E = 70$  [GPa]
- ひずみセンサと作用点の距離 :  $l_1 = 725$  [mm]
- 取付部材料の長さ :  $l_2 = 180$  [mm]
- 作用力 :  $F = 0.15$  [N]
- 断面二次モーメント :  $I = 2701$  [mm<sup>4</sup>]
- 取付部に加わるモーメント :  $M$
- 取付部のたわみの曲率半径 :  $R$
- 取付部のたわみ角 :  $\theta$
- 取付部のたわみ :  $w$
- 取付部表面の伸び :  $\lambda$
- 取付部表面のひずみ :  $\varepsilon$
- 取付部表面と中立軸の距離 :  $\delta r$

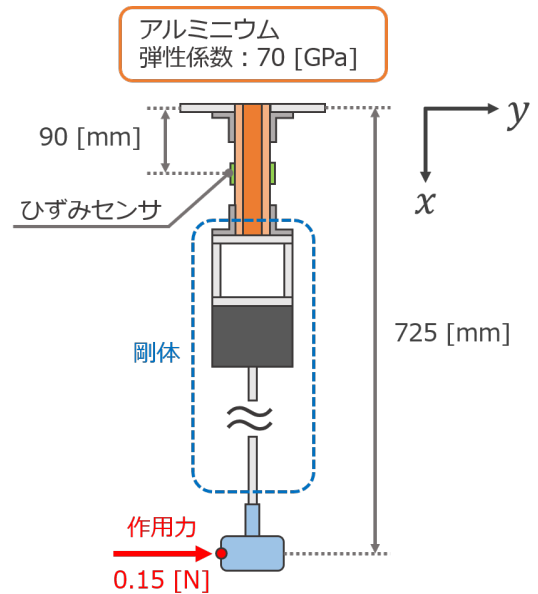


Fig.17 Cross-sectional shape of experimental device

#### 4.2.1 算出過程

##### ■ 実験装置に加わるモーメントの算出

$$\begin{aligned} M &= F \times \frac{l_1}{1000} \\ &= 0.15 \times 0.725 \\ &= 0.10875 \text{ [N} \cdot \text{m]} \end{aligned}$$

##### ■ たわみの曲率半径の算出

たわみの曲率半径

$$\frac{1}{R} = \frac{M}{EI}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{EI}{M} \\ &= 70 \times 2701 \times \frac{100000}{10875} \\ &\approx 1738577.713 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

##### ■ 位置 $x$ [mm] におけるたわみ角とたわみの算出

たわみの微分方程式

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$$

今回のひずみは正の値となる

初期条件

- $x = 0$  のとき  $w = 0, \theta = 0$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 w}{dx^2} &= \frac{M}{EI} \\ &= \frac{0.10875}{70 \times 2701} \\ &= 5.7518 \dots \times 10^{-7} \\ &\approx 5.752 \times 10^{-7} \text{ [1/mm]} \end{aligned}$$

$$\frac{dw}{dx} = \theta = \frac{M}{EI} x + C_1$$

$$w = \frac{1}{2} \frac{M}{EI} x^2 + C_1 x + C_2$$

初期条件より

$$C_1 = C_2 = 0$$

したがって、

$$\theta = \frac{M}{EI} x$$

$$w = \frac{1}{2} \frac{M}{EI} x^2$$

##### ■ ひずみセンサ取付部 ( $x = 90$ ) の伸びの算出

$x = 90$  のとき、たわみ角は、

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{M}{EI} \times 90 \\ &= 5.7152 \times 10^{-7} \times 90 \\ &= 5.1437 \times 10^{-5} \\ &\approx 5.144 \times 10^{-5} \text{ [rad]} \end{aligned}$$

したがって、取付軸の伸び  $\lambda$  は、

$$\begin{aligned} \lambda &= (R + \delta r) \theta - R \theta \\ &= \delta r \theta \\ &= 10 \times \theta \\ &= 10 \times 5.1437 \times 10^{-5} \\ &= 5.1437 \times 10^{-4} \\ &\approx 5.144 \times 10^{-4} \text{ [mm]} \end{aligned}$$

##### ■ ひずみセンサ取付部 ( $x = 90$ ) のひずみの算出

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\lambda}{l_2} \\ &= \frac{5.144 \times 10^{-4}}{180} \\ &= 2.8577 \times 10^{-6} \dots \\ &\approx 2.858 \times 10^{-6} \text{ [-]} \end{aligned}$$

##### ■ 先端 ( $x = 725$ ) のたわみ量 $w$ の算出

$$\begin{aligned} w &= \frac{1}{2} \times \frac{M}{EI} \times l^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 5.752 \times 10^{-7} \times 725^2 \\ &= 0.1511 \dots \\ &\approx 0.151 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

#### 4.3 ひずみ量の算出式の作成

##### 4.3.1 算出過程

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\lambda}{l_2} \\ &= \frac{\theta}{l_2} \times \delta r \\ &= \frac{M \times 90}{l_2 \times EI} \times \delta r \\ &= \frac{l_1 \times 90}{1000 \times l_2 \times EI} \times F \times \delta r \\ &= \frac{725 \times 90}{1000 \times 180 \times 70 \times 2701} \times F \times \delta r \\ &= 1.9172 \dots \times 10^{-6} \times F \times \delta r \\ &\approx 1.917 \times 10^{-6} \times F \times \delta r \end{aligned}$$

ひずみ量の算出式

$$\varepsilon = 1.197 \times 10^{-6} \times F \times \delta r$$

また，取付部表面と中立軸の距離： $\delta r$  について比較形状ごとの値を以下に示す．

取付部表面と中立軸の距離

- (i) 円筒： $\delta r_1 = 10.0$  [mm]
- (ii) 円柱： $\delta r_2 = 7.65$  [mm]
- (iii) 角柱： $\delta r_3 = 6.70$  [mm]

したがって，実験装置に加えられる作用力を 1 [N] と仮定し，それぞれの比較形状についてひずみを算出すると，以下ようになる．

各試験片のひずみ量

- (i) 円筒： $\varepsilon_1 \approx 1.197 \times 10^{-5}$  [-]
- (ii) 円柱： $\varepsilon_2 \approx 1.467 \times 10^{-5}$  [-]
- (iii) 角柱： $\varepsilon_3 \approx 1.284 \times 10^{-5}$  [-]

## 5 ひずみゲージの選定

### 5.1 現在使用しているロードセルについて

現在使用しているロードセルについての情報を以下に示す．

- 名称：微小荷重圧縮引張型 UTA
- 型番：UTA-100GR
- 定格容量：0.9807 ~ 19.61 [N]
- 推奨印可電圧：3V 以下