

# ひずみゲージによる流動抵抗の測定法

## 1 ひずみゲージについて

ひずみゲージは、薄い電気絶縁物のベース上に数ミクロンの金属箔を接着した構造をしており、力や圧力、加速度、振動などのセンサに使われている。単純な構造ではあるが精度がよく、今回の実験で使うひずみゲージは 1m の長さに対して 1 $\mu$ m(ミクロン) 単位の変化を測定している。

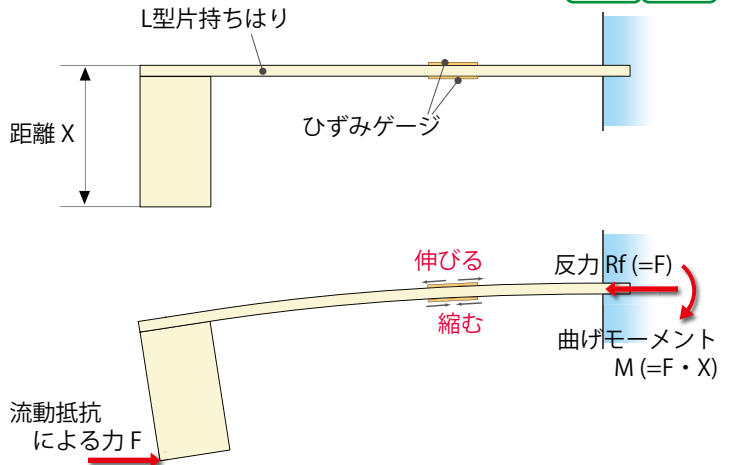


図2 L型片持ちはりの形状と力のつり合い

## 2 ひずみゲージの測定原理

金属材料は、その金属固有の抵抗値をもっており、外部から力を加えられるとその抵抗値は変化する。

金属材料にひずみ  $\varepsilon$  (=変形長さ  $\Delta L$  /元の長さ  $L$ ) が生じたとき、電気抵抗値  $R$  が  $\Delta R$  だけ変化したとすれば、次の関係が成り立つ。

$$\Delta R / R = K_s \cdot \Delta L / L = K_s \cdot \varepsilon \dots\dots\dots (1)$$

$\Delta R$  電気抵抗の変化量

$R$  元の電気抵抗

$\Delta L$  変形長さ

$L$  金属材料の元の長さ

$\varepsilon$  ひずみ

ここで  $K_s$  はゲージ率といい、ひずみゲージの感度を表す係数で、材質によって固有の値を持つ。したがって、電気抵抗量の変化  $\Delta R$  を測定すればひずみがわかる。なお、抵抗の変化量は非常に小さいので、**ホイートストンブリッジ回路**によって得られる電圧の変化を**アンプ**により増幅する。また、コンピュータへの入力は、**AD変換**によってデジタル信号としたものを用いる。

材料に加えられた力によって内部に発生した**応力  $\sigma$**  (=力/面積) とひずみ  $\varepsilon$  の間には、**フックの法則**により

$$\sigma = E\varepsilon \dots\dots\dots (2)$$

$\sigma$  応力

$E$  縦弾性係数 (はりの材質で定まる値)

$\varepsilon$  ひずみ

の式で表され、この式から、ひずみに**縦弾性係数**をかけることで応力が得られることがわかる。

## 3 流動抵抗の測定

図2に示すのは、流動抵抗を測定するための**L型片持ちはり**である。L型片持ちはりの上面および下面にひずみゲージが貼ってあり、L型片持ちはりの変形に連動して、ひずみゲージも変形するようにしてある。流動抵抗により力  $F$  が生じると、力がつり合うように、大きさが同じで反対方向に働く反力  $R_f$  と、はりを曲げようとする曲げモーメント  $M$  がはりに働く (図中下)。曲げモーメントの大きさは  $M = F \cdot X$  となる。今回用いるひずみゲージでは、この  $M$  により生じるひずみ  $\varepsilon$  を測定している。曲げモーメント  $M$  と応力  $\sigma$  との間には次の関係がある。

$$M = \sigma Z \dots\dots\dots (3)$$

$M$  曲げモーメント

$Z$  断面係数

(はりの断面形状から求められる定数)

以上の測定原理をまとめると

- ひずみゲージで電気抵抗の変化量  $\Delta R$  を測定することで、式 (1) からひずみ  $\varepsilon$  を求める。
- 得られたひずみ  $\varepsilon$  を式 (2) に代入して応力  $\sigma$  を求める。
- 得られた応力  $\sigma$  を式 (3) に代入して曲げモーメント  $M$  を求める。
- 得られた曲げモーメント  $M$  を距離  $X$  (図2参照) で割って、流動抵抗による力  $F$  を求める。

今回の実験では1秒間に数十回程度、電気抵抗の変化量  $\Delta R$  の**サンプリング**を行い、渦の影響で時間的に変化する力  $F$  (流動抵抗) を求めている。

# ▶ 粒子画像流速計 PIV の原理

## 1 PIV について

粒子画像流速計 PIV (Particle Image Velocimetry) は、短い時間間隔で撮影した2枚の可視化画像を比較し、両者で比較的似たパターンを見つけ出して、元画像のパターンが比較画像のパターン位置に移動したとして流速を求める方法である。

## 2 検査領域の抽出

図1の(1a)および(1b)に示した画像は1/60秒間隔で撮影した円柱下流の可視化画像である。

流れ場には(1c)に示すような仮想格子を設ける。PIVでは各格子点上の流速を求める。例として、ある格子点Pの流速を求める方法を述べる。格子点Pの周りに一定の大きさの検査領域(この場合195×195ピクセル)を設ける。元画像(1a)の検査領域を拡大したものを(1d)に示す。これに対して、比較画像(1b)内の一定の範囲(探索領域)にわたって、同じ大きさの部分領域(195×195ピクセル)を取り出して比較し、もっともパターンが似た部分領域を選び出す(1d)。これより、元画像の格子点Pがベクトルの始点となり、比較画像の最も相関が高い位置がベクトルの終点となる。ベクトルの長さは流体が進んだ距離であり、時間間隔(1/60秒)で割ると流速ベクトルとなる。

## 3 相関係数の計算

図2は相関の評価方法を表している。(1d)に示したパターンを3次元表示したものが(2a)に示してある。白く明るい部分は山の頂上を、黒く暗い部分は谷に対応している。すなわち、明暗は高さ方向の値を持っている。2次元にならんだ高さ方向の値を、検査領域を(2b)に示すような順番に1次元に並べなおす。並べなおして得られた明暗分布を(2c)に示す。流れ場の場所によって照明の強度が異なる影響を無くすために、(2c)の明暗分布(fまたはg)の平均値(fmまたはgm)を求め、明暗分布より平均値を差し引いてf-fm(元画像)またはg-gm(比較画像)を求める。(2c)では平均値(fmまたはgm)を横方向の赤線で示してある。これによって、明るさ・暗さのレベルを標準化

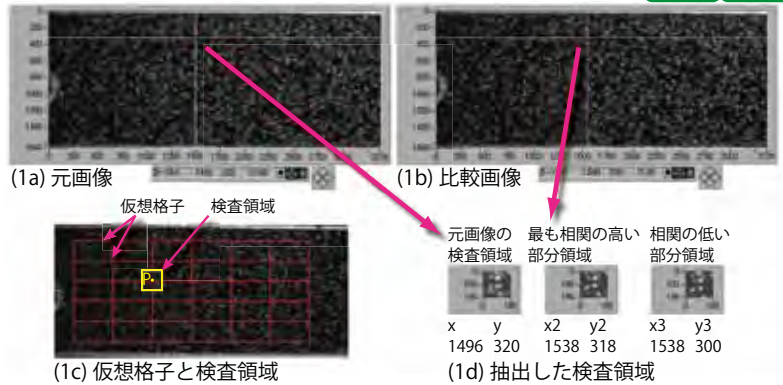
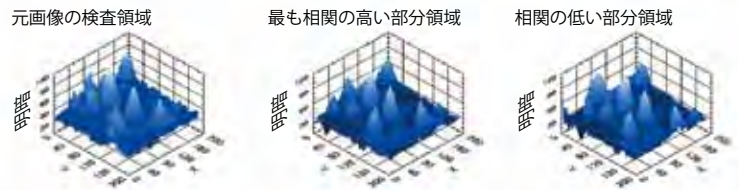


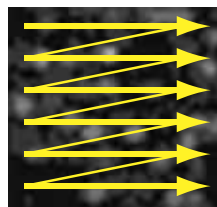
図1 検査領域の抽出



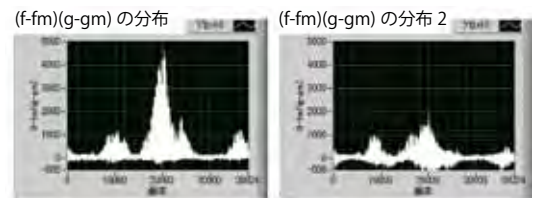
(2a) 抽出した検査領域の3次元表示



(2c) 1次元に並べ替えた検査領域の明暗分布



(2b) 検査領域(2次元)を1次元に並べ替え



(2d) (f-fm)(g-gm)の分布  
相関係数 0.816      相関係数 0.278

(2e) 相関係数(0~1)

図2 相関係数の計算

する。

次に元画像の明暗分布(f-fm)と比較画像の明暗分布(g-gm)を掛け合わせた結果(f-fm)(g-gm)を(2d)に示す。元画像の検査領域と最も相関の高い部分領域を掛け合わせた結果は、明暗の山(正の値)と山(正の値)がまた谷(負の値)と谷(負の値)が一致しているため、正×正で山の部分でも、また負×負で谷の部分でも、掛け合わせた値が正の高い値を示す。一方、相関の低い部分領域ではそのようにはならない。

さらに、(f-fm)(g-gm)の平均値(2e)を求めることで相互相関係数が得られる。この相互相関係数を明暗パターンの相関の評価方法に適用した。