

## 樹脂製パイプの摩擦試験法の開発

中村光孝\*, 増田峰知\*

### Development of Friction Test Method for Plastic Pipes

Mitsutaka NAKAMURA and Takanori MASUDA

There is a method of friction test of plastic only for films or sheets regulated in Japanese Industrial Standards (JIS) and American Society for Testing Materials (ASTM). However not for plastic pipes, in this report, we developed three methods of friction test for plastic pipes.

Key words: Friction Test, Strain Gage, Plastic Pipe, Friction Coefficient

#### 1. はじめに

樹脂製品の摩擦係数試験方法については、フィルム及びシートについては JIS K 7125:1999<sup>1)</sup>、ASTM D1894-14<sup>2)</sup>等に規定されているが、その他の形状のものについては規定されていない。また、既存の摩擦試験機でもパイプ状の物体に対応した製品はあるが簡便ではない<sup>3)</sup>。

本研究では、既製品であり試験用に加工することができない、かつ、柔軟で変形しやすいパイプに対応可能な試験方法を構築することを目的に、3種類の方法でパイプの摩擦係数を測定したので報告する。

#### 2. 試験方法

試験装置は JIS K 7125:1999 を参考にし、以下のとおりとした。

- (1) 非磁性金属（アルミ）製の水平で平滑な試験テーブルを用いる。
- (2) 摩擦を引き起こす運動は単軸ロボットにより発生させ、速度は、1.66 mm/sec (100 mm/min) とする。
- (3) 引張り方向は、摩擦面に対して平行とする。

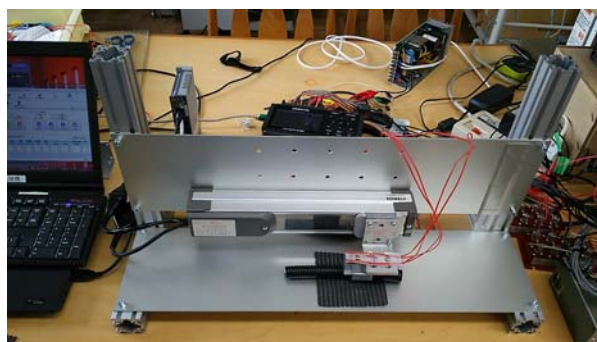


図 1 試験装置

JIS K 7125:1999 では法線力を発生させるための滑り片の寸法や重量などが規定されているが、円筒形のパイプには適用できないため、法線力を加える方法として以下の 2 つを採用し試験を行うこととした。

##### 2. 1 コの字形起歪体を用いる方法

コの字形の起歪体で上からパイプをテーブルに押し付けて法線力を発生させ、起歪体を水平運動させることにより摩擦力を発生させる方法 (図 2, 図 3)

##### 2. 2 平板起歪体を用いる方法

パイプ内に重りを入れて法線力を発生させ、平板の起歪体でパイプを横から押して水平運動させることにより摩擦力を発生させる方法 (図 4, 図 5)

\* 電子機械研究課

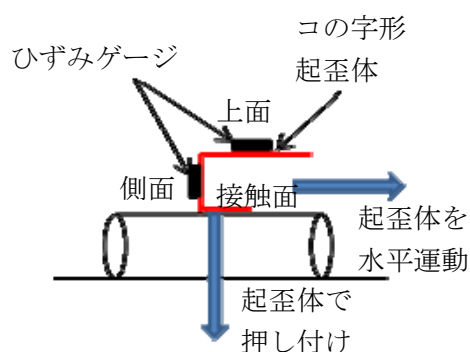


図 2 コの字形起歪体 (概要図)



図 3 コの字形起歪体 (実物写真)

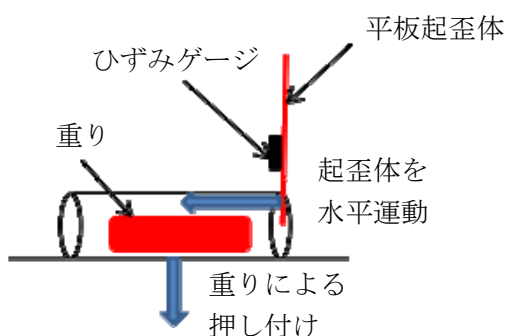


図 4 平板起歪体 (概要図)



図 5 平板起歪体 (実物写真)

起歪体には厚さ 0.3 mm のアルミ板を加工したものを使用した. コの字形起歪体については単軸ロボットにボルト止めしている面を上面, そこから 90 度曲がったひずみゲージのあるもう一つの面を側面, パイプを押さえつける面を接触面と呼ぶこととし, 図 2 に示すように上面と側面のそれぞれにひずみゲージを貼り付け, 4 ゲージアクティブダミー法のブリッジ回路を組んで測定した. 平板起歪体では図 4 に示すようにひずみゲージを貼り付け, 4 ゲージアクティブダミー法のブリッジ回路を組んで測定した.

### 3. 摩擦試験

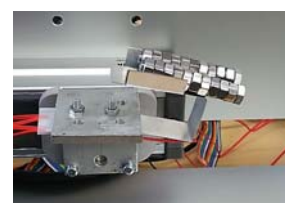
#### 3. 1 ひずみゲージの校正

始めに, 起歪体に与えた実荷重とひずみゲージのひずみ値の関係を求めるための測定を行った. 荷重は重り (ボルトやナット) の個数で調整し, 加えた.

コの字形起歪体は, 重りの重心の位置により上面と側面のひずみ方が変化する. そこで, 荷重を一定として, その重心位置を図 6 のように変化させながら上面と側面のひずみゲージの出力電圧の関係を調べたところ, 一次関数として表されることが分かった. 具体的に, 起歪体に載せた重りの質量を 4.5 g, 33 g, 66 g 及び 105.7 g とした場合についての関係を図 7 に示す. さらに, 図 7 においてこの 4 つの関数の切片と傾きを求め, それと質量との関係を求めたところ, 図 8 に示すように各関数の切片は重りの質量に比例し, 傾きについては重りの質量の一次関数で表されることが分かった. これにより, 摩擦試験中のある時点の上面と側面の出力電圧が得られれば, それを図 7 にプロットし, その点を通る一次関数の傾きと切片を求め, 図 8 により重りの荷重を推測することができる.



a) 重心左寄り



b) 重心右寄り

図 6 コの字形起歪体の校正 (重りの重心位置の変化による起歪体のひずみ方の変化)

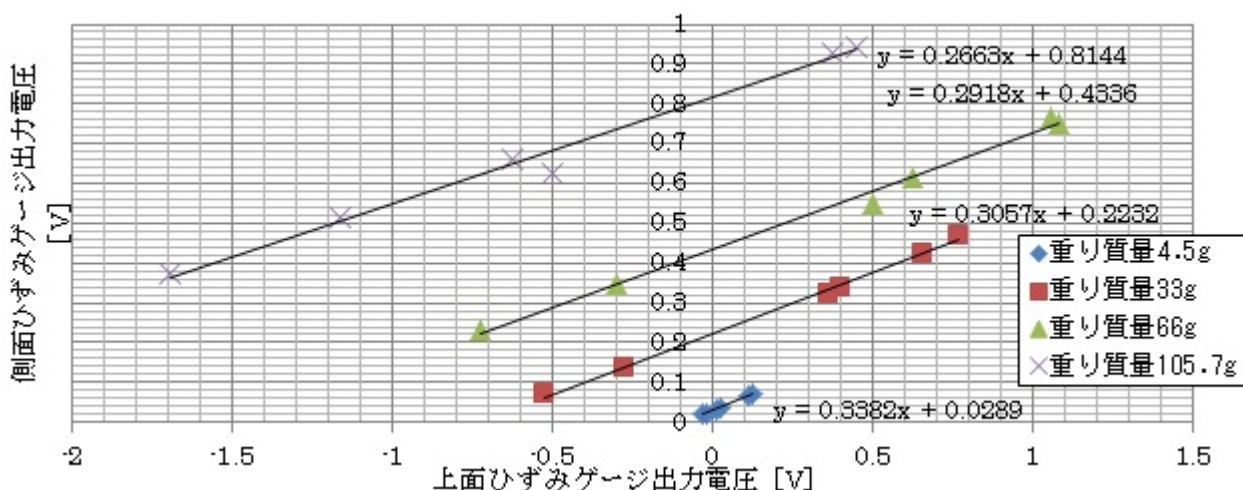


図7 コの字形起歪体の校正結果（重りの質量とひずみゲージ出力の関係）

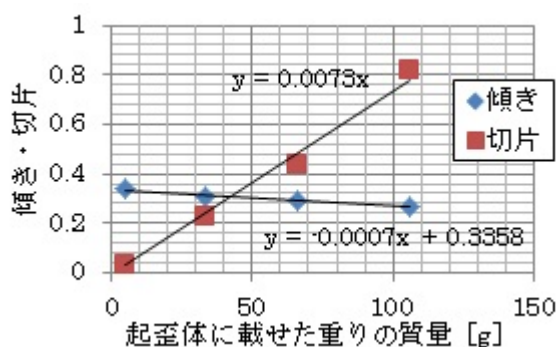


図8 コの字形起歪体の校正結果（重りの質量と図7の直線の傾き及び切片の関係）



図9 平板起歪体の校正

平板起歪体については、図9に示すように起歪体の先端付近にワイヤーで重り（ナット）を吊るし、個数の増減でその質量を変化させて出力電圧を測定したところ、図10に示すように単純な比例関係が得られた。これにより、ひずみゲージの電圧を測定すれば重りの荷重を推測することができる。

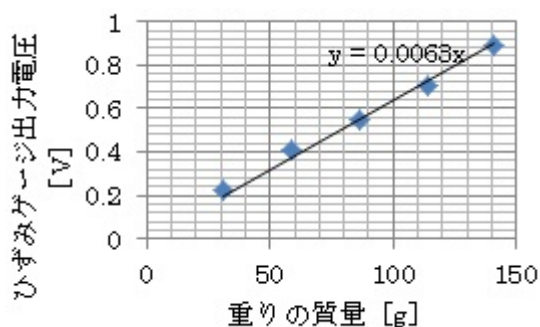


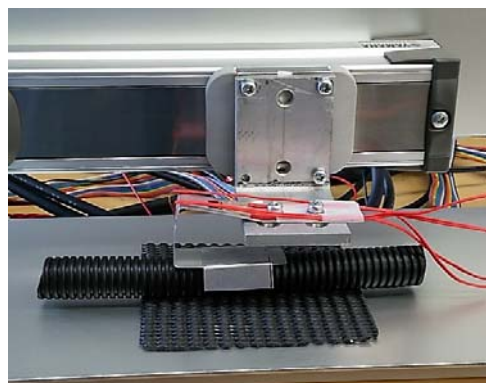
図10 平板起歪体の校正結果

### 3. 2 摩擦測定

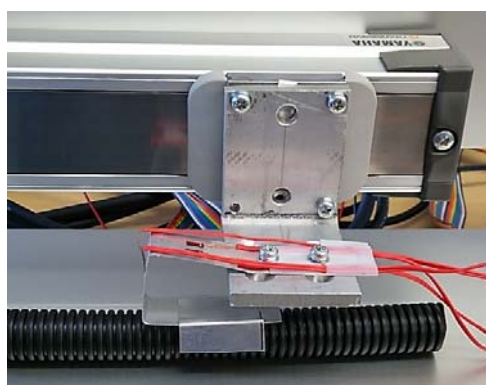
#### 3. 2. 1 コの字形起歪体を用いる方法

コの字形起歪体での測定については、図11に示すように、パイプを床面に固定して起歪体とパイプの摩擦を測定する方法（以下「床固定法」と

呼ぶ) と、パイプを起歪体に固定して床面とパイプの摩擦を測定する方法 (以下「起歪体固定法」と呼ぶ) について試験を行った。パイプの固定には発泡樹脂製の滑り止めシートを使用した。



a) 床固定法



b) 起歪体固定法

図 11 摩擦試験 (コの字形起歪体)

### 3. 2. 2 平板起歪体を用いる方法

図 12 に示すように、4.5 g のパイプ内に 101.2 g の重りを入れ、パイプの右から起歪体を当てて左へ押す操作を行って出力電圧を測定した (以下「平板法」と呼ぶ)。

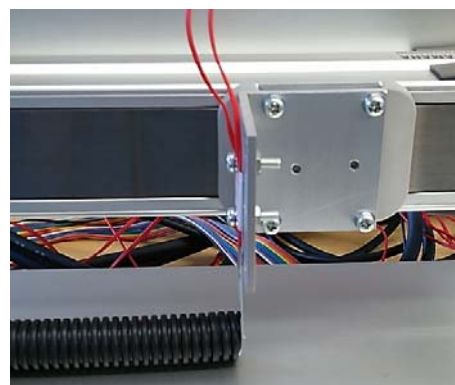


図 12 摩擦試験 (平板法)

### 3. 3 摩擦係数の算出

#### 3. 3. 1 コの字形起歪体を用いる方法

床固定法での試験結果を図 13, 起歪体固定法での試験結果を図 14 に示す。どちらもパイプを床に押し付けた状態での水平運動を、左向き運動後に右向き運動を行う往復を 3 回行ったときのひずみゲージ出力電圧の変化を示している。

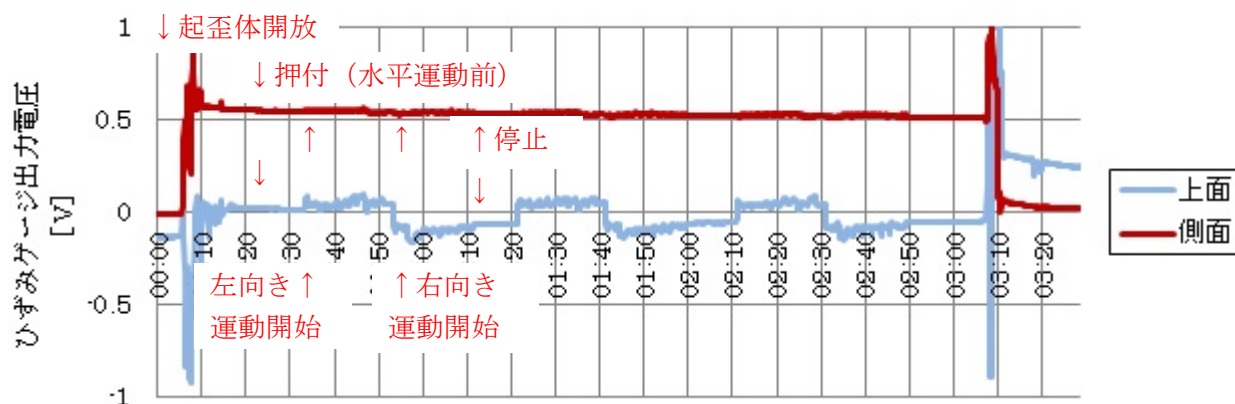


図 13 床固定法の試験結果

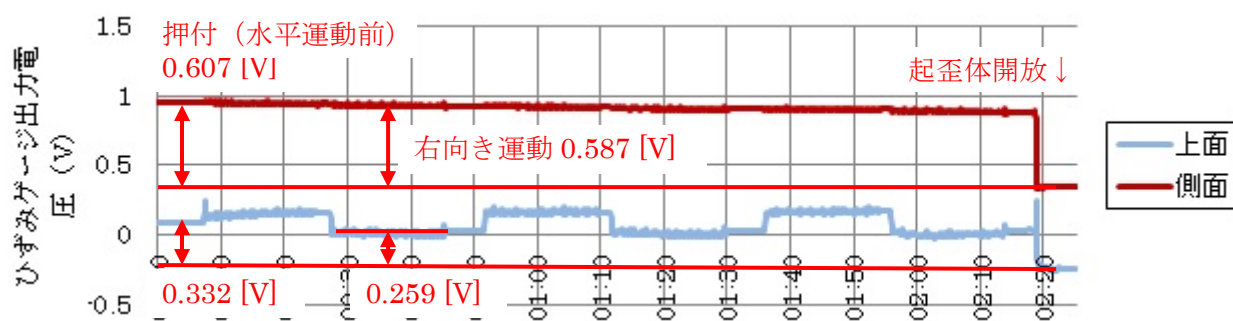


図 14 起歪体固定法の試験結果

図 13 及び図 14 において側面の出力が徐々に小さくなっているのは、起歪体や取付治具の精度によるものと考えられる。接触面が床と平行でなかったり、押さえつける力の向きが床面と垂直でなかったりすると、水平運動中にパイプが徐々に運動方向に対して横にずれてしまう。このとき起歪体への力のかかり方も徐々に変化するため、それに従ってひずみゲージの出力も変化してしまう。

コの字形起歪体使用時の摩擦係数算出のために、まず図 7 と図 8 の関係について整理する。

重りの質量を  $m$  [g] とすると、図 8 のグラフより図 7 の一次関数の傾きと切片は

$$\text{傾き } -0.00007m + 0.3358$$

$$\text{切片 } 0.0073m$$

であるから、図 7 の一次関数は  $x$  を上面電圧、 $y$  を側面電圧として

$$y = (-0.00007m + 0.3358)x + 0.0073m$$

$$= (-0.00007x + 0.0073)m + 0.3358x$$

$$m = (y - 0.3358x) / (-0.00007x + 0.0073) \text{ [g]}$$

これに測定された  $x$  及び  $y$  を代入すると  $m$  が得られる。この  $m$  から起歪体にかかる力  $f$  を求めると

$$f = 9.81m \text{ [mN]}$$

・床固定法試験結果から算出

図 13 の 1 回目水平運動の右向き運動時の出力値より算出

水平運動前 上面: 0.150 [V], 側面: 0.556 [V]

上述の式に代入して

$$\begin{aligned} m_1 &= (0.556 - 0.3358 \cdot 0.150) / \\ &\quad (-0.00007 \cdot 0.150 + 0.0073) \\ &= 0.506 / 0.00729 \end{aligned}$$

$$= 69.4 \text{ [g]}$$

$$f_1 = 9.81 \cdot 69.4 = 680 \text{ [mN]}$$

水平運動中 上面: 0.039 [V], 側面: 0.547 [V]

$$\begin{aligned} m_2 &= (0.547 - 0.3358 \cdot 0.039) / \\ &\quad (-0.00007 \cdot 0.039 + 0.0073) \\ &= 0.534 / 0.0073 \\ &= 73.2 \text{ [g]} \end{aligned}$$

$$f_2 = 9.81 \cdot 73.2 = 718 \text{ [mN]}$$

水平運動中にかかる力  $f_2$  は水平運動前の押付時にかかる力  $f_1$  と動摩擦力の合力と考えられるため、

$$\begin{aligned} \text{動摩擦力 } f_m &= (f_2^2 - f_1^2)^{1/2} \\ &= (718^2 - 680^2)^{1/2} \\ &= 230 \text{ [mN]} \end{aligned}$$

$$\text{○動摩擦係数 } \mu_m = 230 / 680 = 0.34$$

静止摩擦係数については、今回の試験では確認できなかった。

・起歪体固定法試験結果から算出

図 14 の 1 回目水平運動の右向き運動時の出力値より算出

床固定法と同様に計算すると

水平運動前 上面: 0.332 [V], 側面: 0.607 [V]

$$m_1 = 68.1 \text{ [g]}$$

$$f_1 = 668 \text{ [mN]}$$

水平運動中 上面: 0.259 [V], 側面: 0.587 [V]

$$m_2 = 68.7 \text{ [g]}$$

$$f_2 = 674 \text{ [mN]}$$

$$\text{動摩擦力 } f_m = 89.7 \text{ [mN]}$$

$$\text{○動摩擦係数 } \mu_m = 89.7 / 674 = 0.13$$

静止摩擦係数については、今回の試験では確認できなかった。



図 15 平板法の試験結果

### 3. 3. 2 平板起歪体を用いる場合

平板法での試験結果を図 15 に示す。起歪体を当ててパイプを押す操作を 3 回行ったときのひずみゲージ出力電圧の変化を示している。運動開始直後の出力が高くなっている値から静止摩擦力が、その後の運動中の値から動摩擦力が算出できる。

図 15 の 1 回目の水平運動時の出力より算出起歪体にかかる力は

$$f = 9.81V / 0.0063 \text{ [mN]}$$

摩擦力  $f = \mu P$  の関係から

$$\begin{aligned} \text{静止摩擦係数 } f_s &= 9.81 \cdot 0.161 / 0.0063 \\ &= 9.81 \cdot 105.7\mu_s \end{aligned}$$

$$\text{○ 静止摩擦係数 } \mu_s = 25.56 / 105.7 = 0.24$$

$$\begin{aligned} \text{動摩擦係数 } f_m &= 9.81 \cdot 0.093 / 0.0063 \\ &= 9.81 \cdot 105.7\mu_m \end{aligned}$$

$$\text{○ 動摩擦係数 } \mu_m = 14.76 / 105.7 = 0.14$$

## 4. 結論

今回の試験では 2 種類の起歪体を使用し、いずれの起歪体でも動摩擦係数の算出が可能であることが確認されたが、コの字形起歪体については誤差が大きくなっている。誤差の原因としては、起歪体の加工精度の問題や荷重による起歪体の変形などが考えられる。

### (1) コの字形起歪体

床固定法と起歪体固定法については、装置が複雑になり校正に手間がかかるようになるが、測定対象物が小さくても十分な荷重をかけることができる。ただし、右向きと左向きで力のかかり

方が変化することから、荷重の計算方法についてはさらなる検討が必要と考えられる。

### (2) 平板起歪体

平板法は装置の構成が簡素になり測定もしやすいが、測定対象物の形状によっては十分な荷重をかけることができない。今回測定したパイプは中に 100 g の重りを入れることができたが、細いパイプや短いパイプの場合は中に入れられる重りも小さくなってしまい、摩擦力の測定に十分な法線力をかけられなくなる。

いずれの方法においても、起歪体を使用する板の強度は測定の精度に影響する。薄すぎる場合は荷重に対する反応はよいが、大きな荷重をかけた時に塑性変形してしまい、誤差の原因となる。厚すぎる場合は荷重をかけた時のひずみが小さくなり、測定が困難になる。

## 参考文献

- 1) 日本工業規格 JIS K 7125: “プラスチックフィルム及びシート—摩擦係数試験方法”。(一財) 日本規格協会 (1999)
- 2) ASTM D1894-14: Standard Test Method for Static and Kinetic Coefficients of Friction of Plastic Film and Sheeting. ASTM インターナショナル (2014)
- 3) NANOVEA, Coefficient of Friction of Plastic Medical Tube. <http://nanovea.com/AppNotes/plasticcoefficientoffriction.pdf>