

# フープワイヤー式摩擦振動減衰装置の試作と往復作動試験

崇城大学 工学部 学生会員 ○高山祐太郎 蒲池彰人 正会員 片山拓朗  
非会員 東 康二 坂本純一

## 1. はじめに

地震国日本では建造物の倒壊などの多くの地震災害が発生する。建造物の倒壊を防ぐための制震技術の開発は重要である。

筆者らは、制震技術の一つとして、減衰力としての摩擦力が減衰装置の作動変位の増分に比例して増加する変位比例摩擦力型の振動減衰装置を提案している<sup>1),2)</sup>。また、本研究では、その装置の原理を踏襲したフープワイヤー式摩擦振動減衰装置の試作と作動試験を行った。ここでは、試作機の基本構造と往復作動試験について報告する。

## 2. 振動減衰装置の基本構造

図-1 は、装置の中央断面図であり、写真-1 は試作機の外観である。装置は、ピストンロッド [1]、4 組の凸型摺動体 [2] と凹型摺動体 [3]、超弾性 (Ti-Ni) ワイヤ [4]、外付けロッド [5]、端部支持板 [6]、中間部支持板 [7]、ピン [8] で構成される。括弧内の番号は図-1 及び写真-1 に示す符号を示す。

この装置は、4 つの凸型摺動体を固定したピストンロッドを中心とし、それらに凹型摺動体をかみ合わせて筒状の凹凸摺動機構を構成し、その摺動機構の周りにワイヤーを巻いて形成する。これらの摺動体は装置の作動方向に対して互いに傾斜が逆となる傾斜摺動面 [9,10] を備える。傾斜摺動面によって、摺動体間の相対変位の絶対値に比例して筒状の凹凸摺動機構の外径 (2r) が増加する。外径

の増加に伴いワイヤーには張力が発生し、摺動体の摺動面には圧縮力が作用する。摺動面にはその圧縮力に比例する摩擦力が摺動運動を妨げる方向に発生し、装置はこの摩擦力を建造物の振動を抑制する減衰力 D として作用させる。

## 3. 減衰力と変位の関係式

提案装置の減衰力 D と摺動体間の相対変位 (装置の伸縮量) u の関係は式 (1) で表される。

$$D = 4\sqrt{2}n\lambda A \left\{ \sigma_0 + \frac{2\sqrt{2}iE}{\pi(r+d/2)} |u| \right\} \quad (1)$$

ここに、n、 $\sigma_0$ 、d、A、E はそれぞれワイヤーの巻き数、初期応力、直径、断面積、ヤング係数である。i、r はそれぞれ摺動機構の勾配、外周面の半径である。λ は、式 (2) で示す運動抵抗係数とする<sup>2)</sup>。

$$\lambda = \begin{cases} (\mu+i)(1-i\mu)^{-1}, & u > 0, \dot{u} > 0 \\ -(\mu-i)(1+i\mu)^{-1}, & u > 0, \dot{u} < 0 \\ -(\mu+i)(1-i\mu)^{-1}, & u < 0, \dot{u} < 0 \\ (\mu-i)(1+i\mu)^{-1}, & u < 0, \dot{u} > 0 \end{cases} \quad (2)$$

ここに、μ は摺動機構の動摩擦係数であり、 $\dot{u}$  は相対速度である。

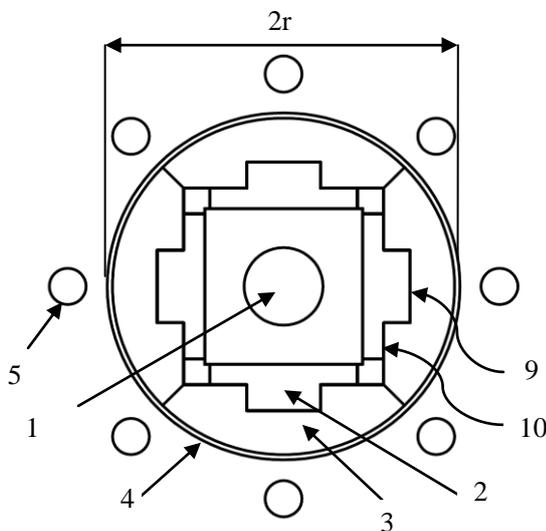


図-1 振動減衰装置の中央断面図

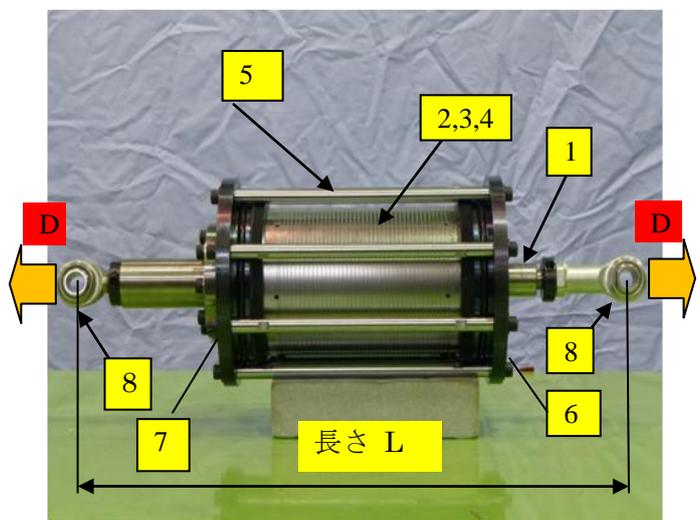


写真-1 試作機の外観

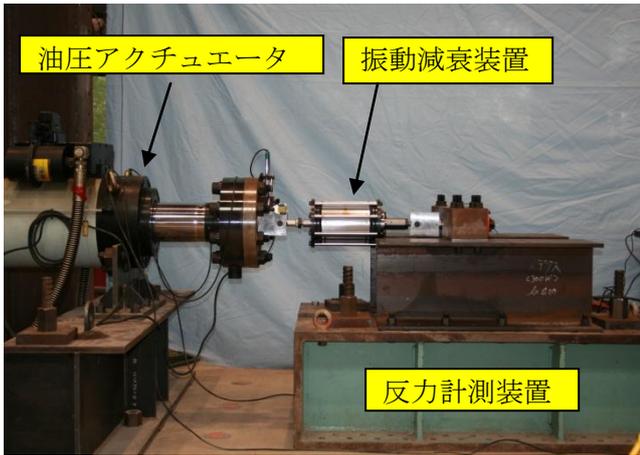


写真-2 往復作動試験の外観

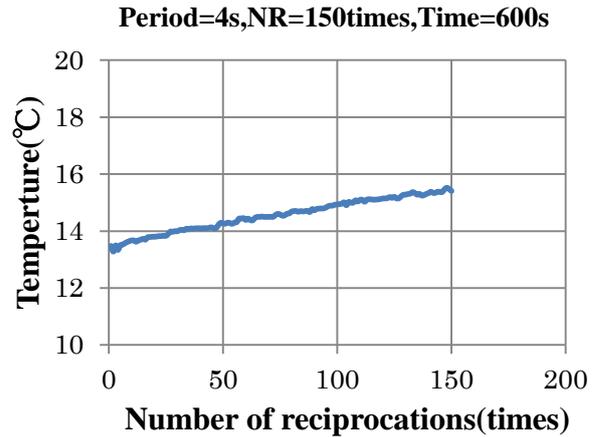


図-3 凹凸摺動機構の外周面の温度変化

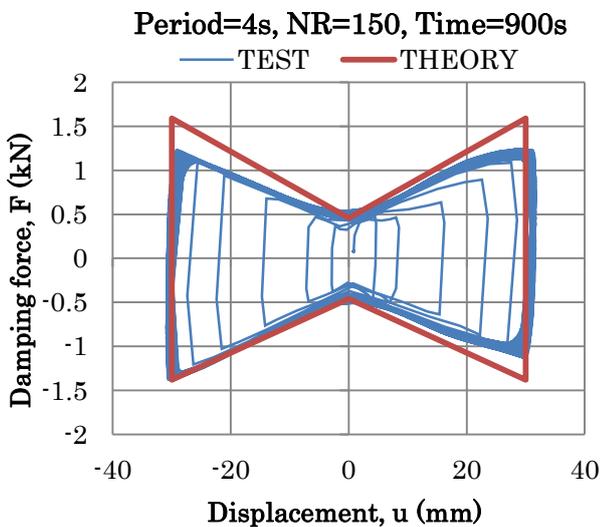


図-2 減衰力と変位の履歴曲線

式(1)と式(2)より提案装置は、ワイヤーの巻き数と直径、摺動機構の動摩擦係数と勾配を変えることで容易に減衰力の大きさを変えることができると考えられる。

#### 4. 試作機の諸元と往復作動試験

写真-1 の試作機の長さや総重量はそれぞれ  $L=540\text{mm}$  と  $40\text{kg}$  である。表-1 に摺動機構とワイヤーの諸元を示す。摺動機構の動摩擦係数  $\mu$  と勾配  $i$  はそれぞれ  $0.14$  と  $0.01$  とする。

写真-2 は往復作動試験装置の外観である。写真のように試作機は油圧アクチュエータと反力計測装置に連結する。

図-2 は、最大振幅  $30\text{mm}$ 、往復周期  $4$  秒、往復回数  $150$  回の往復作動試験における減衰力と変位の関係である。2013年3月の東北地方太平洋沖地震を参考にして継続時間を  $600$  秒とした。また、式(1)の計算値を理論値(THEORY)として併記する。

表-1 試作機の諸元

名称	素材	寸法
凸型摺動体	高力黄銅 (CAC304)	(中央)28mm×100mm (外側)25mm×100mm
凹型摺動体	炭素鋼 (S50C)	(中央)28mm×170mm (外側)14mm×170mm
ワイヤー	Ni-Ti 系合金	$d=0.475$

図より、変位が小さいとき試験値は理論値によく対応しているが、変位が大きくなるにつれて両者の差が大きくなり、最大減衰力時には理論値に対して試験値は約  $24\%$  下回っていた。また、図からは分かりにくいですが、往復回数が増加するにつれて減衰力がわずかに増加することが確認された。

図-3 は、試験時の凹凸摺動機構の外周面の温度変化である。往復回数の増加に比例して温度が上昇し、試験終了時の温度上昇は約  $2^\circ\text{C}$  であった。

#### まとめ

本研究で行った試作機の往復作動試験から、減衰力は作動変位の増加に比例して増加することが確認された。また、理論値との比較では変位が小さいときにはよく対応しているが、変位が大きくなるにつれて両方に差が出るといったことも確認された。

#### 参考文献

- 1) 片山拓朗, 山尾敏孝: 変位の絶対値に比例する摩擦力を生成する摺動型減衰装置に関する研究, 土木学会論文集 A Vol.66 No.4, 783-798, 2010.12
- 2) 片山拓朗, 東康二: 変位比例摩擦力型振動減衰装置の往復载荷試験, 土木学会第 68 回年次学術講演会