

変位比例摩擦力型振動減衰装置の往復载荷試験

崇城大学工学部エコデザイン学科 正会員 ○片山拓朗
建築学科 非会員 東 康二

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震で経験したように、南海トラフ巨大地震で引き起こされると予想される長周期地震動は、関東平野・濃尾平野・大阪平野に位置する超高層ビルや長大橋などの長周期構造物に対する現実的な脅威であり、これらの構造物または将来建設される長周期構造物に適用できる経済的な振動減衰装置の開発は社会的な要請である。

筆者らは、長周期振動対策に用いる振動減衰装置として、摩擦力が変位の絶対値に比例して増加する特性を有する装置を提案している^{1),2)}。また、その装置を実用化するために必要な大型板ばねの試作と荷重試験を行い、装置の設計・製作に必要なばね定数を得た³⁾。ここでは、試作した大型板ばねを実装した最大振幅40mm・最大軸力100kNの装置の基本構造と往復载荷試験について報告する。

2. 振動減衰装置の基本構造

図1に装置の平面図と正面図を示す。装置は、2組の漸高型摺動機構(1)、2組の定高型摺動機構(2)、2組のU形板ばね(3)、H形シリンダー(4)、2組の並列ピストン(5)で構成する。括弧内の番号は図1に示す符号1~5を示す。

図2は、図1に示した矢視A-Aの装置の中央断面図である。装置は、H形シリンダーを中央とし、定高型摺動機構、並列シリンダー、漸高型摺動機構、U形板ばね、補強板をこの順番でH形シリンダーの左右に左右対称になるように配置して構成する。漸高型摺動機構(1)は凹形軟質摺動体(1c)と凸形硬質摺動体(1s)で構成され、これらの摺動体は装置の作動方向に対して僅かに傾斜し且つ互いに

傾斜が逆となる二種類の傾斜摺動平面を備える。この二種類の傾斜摺動平面によって、摺動体間の相対変位の絶対値に比例して漸高型摺動機構の高さが増加する。定高型摺動機構(2)は平面軟質摺動体(2c)と平面硬質摺動体(2s)で構成され、二つの摺動体は装置の作動方向と平行な摺動平面を備える。定高型摺動装置は低コストで減衰力を倍増させるために使用する。

U形板ばねとH形シリンダーの上下フランジは互いに高力ボルトで連結され、左右二つのD形拘束リングを形成する。D形拘束リングは、漸高型摺動機構の高さの増加を弾性的に拘束し、この高さの増加を利用して漸高型摺動機構と定高型摺動機構に圧縮力を作用させる。圧縮力は凹形軟質摺動体と凸形硬質摺動体の相対変位の絶対値に比例する。図1のピン穴間距離を変化させる方向にH形シリンダーと並列ピストンが相対的に運動すると、凹型軟質摺動体と凸型硬質摺動体、および平面軟質摺動体と平面硬質摺動体も相対的に同方向に運動するので、各摺動機構の各摺動平面には圧縮力に比例する摩擦力が相対運動を妨げる方向に作用する。この摩擦力はH形シリンダーと並列ピストンの相対変位の絶対値に比例する。提案装置はこの摩擦力を減衰力とする。

3. 減衰力と変位の関係式

提案装置の減衰力 F と相対変位 u の関係は式(1)で示される。

$$F = \begin{cases} 2\lambda_a i_a k_a |u - e|, & e < u \\ 0, & -e \leq u \leq e \\ 2\lambda_b i_b k_b |u + e|, & u < -e \end{cases} \quad (1)$$

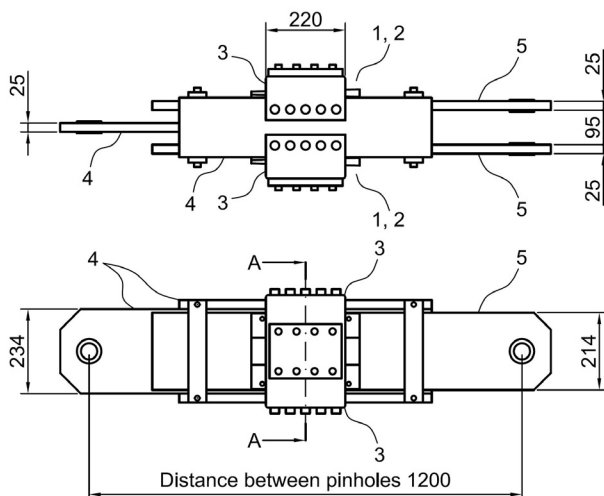


図1 振動減衰装置の正面図と平面図

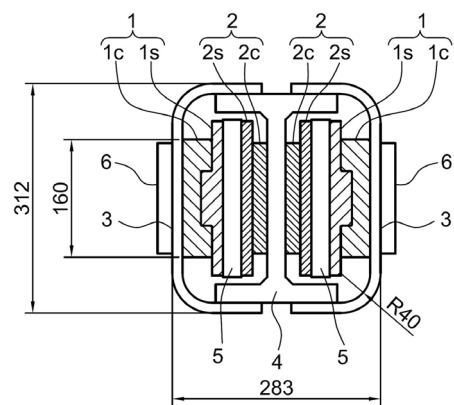


図2 振動減衰装置の中央断面図 (A-A)

キーワード：振動減衰装置，変位比例摩擦力，漸高摺動機構，定高摺動機構，U形板ばね

連絡先：(〒860-0042 熊本市西区池田 4-22-1, Tel:096-326-3792, Fax:096-311-1769, Email:katayama@eco.sojo-u.ac.jp)

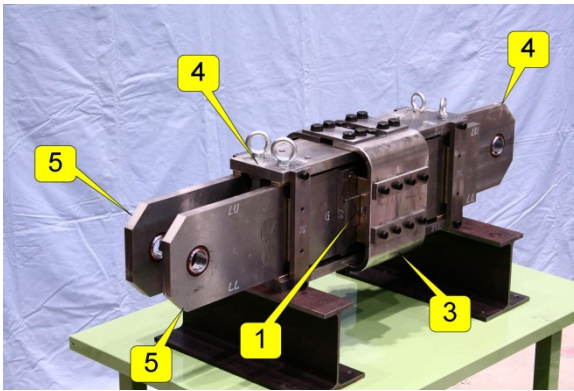


写真1 振動減衰装置の外観

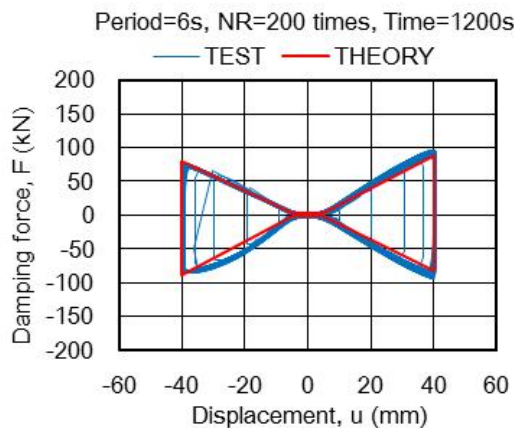


図3 減衰力と変位の履歴曲線

ここに、 i_a と i_b は漸高摺動機構の二種類の傾斜摺動平面の勾配であり、 k_a と k_b とは二種類の傾斜摺動平面がそれぞれ摺動する場合の D 形拘束リングのばね定数である。 e は減衰力を発生させない範囲を示す振幅とする。 λ_a と λ_b はそれぞれ式(2a)と式(2b)で示す運動抵抗係数とする。

$$\lambda_a = \begin{cases} \mu + (\mu_a + i_a)(1 - i_a \mu_a)^{-1}, & \dot{u} > 0 \\ -\mu - (\mu_a - i_a)(1 + i_a \mu_a)^{-1}, & \dot{u} < 0 \end{cases}, \quad u \geq 0 \quad (2a)$$

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

ここに、 μ_a と μ_b は二種類の傾斜摺動平面の動摩擦係数とし、 μ は定高摺動機構の摺動平面の動摩擦係数とする。

4. 往復载荷試験

写真1は並列ピストン側から写した装置の外観である。二本の並列ピストンの他、H形シリンダー、U形板ばねが確認できる。漸高型摺動機構はU形板ばねの陰で辛うじて確認できるが、定高型摺動機構は並列ピストンとH形シリンダーの間に位置するため、写真では確認できない。

図3は、往復周期6秒、往復回数200回、継続時間1200秒の往復载荷試験における減衰力と変位の関係である。

表1 パラメータ

名称等	記号	値
傾斜摺動平面a	k_a	420 kN/mm
	i_a	1:100
	μ_a	0.14
傾斜摺動平面b	k_b	270 kN/mm
	i_b	1:64
	μ_b	0.14
摺動平面	μ	0.14
小振幅	e	5 mm

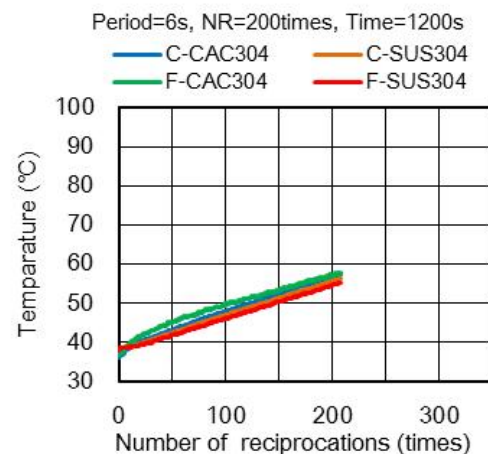


図4 往復载荷試験時の温度変化

式(1)による計算値を理論値(THEORY)として併記する。計算に用いたパラメータを表1に示す。ばね定数は実験値であり、摩擦係数は摺動材メーカーから提供された技術資料に基づく値である。図より、試験値と理論値が良く対応することが確認される。図では分かりにくいですが、往復回数の増加に伴って、減衰力が増加する特徴が確認された。

図4は図3で示した試験時の摺動体の温度変化の記録である。図中の記号 C-CAC304, C-SUS304, F-CAC304, F-SUS304 はそれぞれ凹型軟質摺動体、凸型硬質摺動体、平面軟質摺動体、平面硬質摺動体を示す。図より、各摺動体の温度上昇は約 20°C であり、反復回数の増加に比例して温度が上昇する特徴が確認される。

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, pp.783-798, 2010.
- 2) 片山拓朗, 東康二: 変位の絶対値に比例する摩擦力を生成する軸力部材型振動減衰装置の実験, 土木学会第66回年次学術講演会, CD-ROM, 1-353, 2011.
- 3) 片山拓朗, 東康二: 変位の比例摩擦力型振動減衰装置に用いる板ばねの試作と载荷試験, 土木学会第67回年次学術講演会, CD-ROM, 1-416, 2012.