

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

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

1. はじめに

2006年の土木学会と日本建築学会の共同提言で示されたように、南海地震や東南海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で効率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、減衰力としての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せん断力部材型振動減衰装置を提案している¹⁾。ここでは、この装置の原理を応用した軸力部材型振動減衰装置(以下、減衰装置と略す。)を提案し、最大振幅 20mm・最大減衰力 10kN の試作装置を用いた往復載荷試験で得られた減衰力特性を報告する。

2. 振動減衰装置の基本構造

図-1 に減衰装置の作動直角方向断面図を示す。減衰装置は、凹凸側支持板(1)、凹凸摺動機構(2&3)、中央軸力材(4)、平面摺動機構(5&6)、平面側支持板(7)、側方軸力材(8)および U 型板ばね(9)で構成される。凹凸摺動機構は、摺動方向に逆向きで傾きが等しい二つの摺動面を有する凹型摺動体(2)と凸型摺動体(3)で構成され、摺動体の摺動変位の絶対値に比例して高さが増加する。平面摺動機構は二つの平面摺動体(5&6)で構成される。

凹型摺動体は凹凸側支持板へ、凸型摺動体は中央軸力材へ、それぞれボルトで連結される。二つの平面摺動体もそれぞれ平面側支持板と中央軸力材へボルトで連結される。U 型板ばねの一端は凹凸側支持板へ、残りの一端は側方軸力材へ、それぞれボルトで連結される。平面側支持

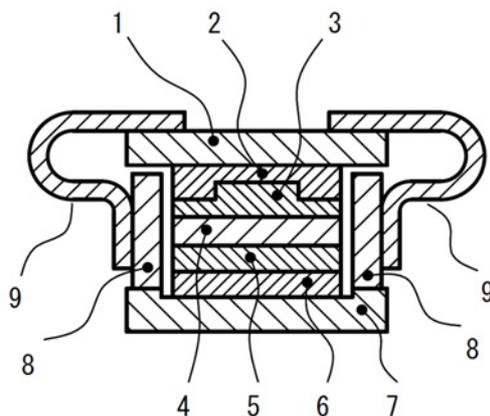


図-1 作動直角方向断面図

板は側方軸力材へボルトで連結される。凹凸側支持板、二つの U 型板ばね、二つの側方軸力材および平面側支持板はボルトで連結されることによって閉じた左右対称・上下非対称形状の抵抗リングを形成する。

提案の減衰装置は、凹凸摺動機構の摺動変位に伴い発生する摺動機構の高さの変化を利用して、その高さの変化方向に前述の抵抗リングを押し広げることによって、凹凸摺動機構と平面摺動機構に摺動変位の絶対値に比例して増加する圧縮力を作用させる。それらの機構の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する。減衰装置は中央軸力材と側方軸力材を介してこの摩擦力を構造物に減衰力として作用させる。

3. 減衰装置の力学特性

図-2 に凹凸摺動機構の基本形状および摺動変位(u)と高さの変化(v)を示す。図は凹型摺動体(2)が中立位置(Neutral)を基準として正の摺動変位($u > 0$)を生じた状態を表す。 h_0 は中立時の機構の高さである。凹型摺動体は互いに傾きが逆の摺動面(10b&11b)を有し、凸型摺動体(3)は互いに傾きが逆の摺動面(10a&11a)を有す。正の摺動変位($u > 0$)では摺動面 11a と摺動面 11b が接触し、負の摺動変位($u < 0$)では摺動面 10a と摺動面 10b が接触する。摺動機構の高さの変化は次式で表される。

$$v = i|u| \quad (1)$$

ここに、 i は凹凸摺動機構の摺動面の勾配である。

凹凸摺動機構の高さの変化の方向と平行な方向の抵抗リングのばね定数を S_y とすると、摺動機構に作用する圧縮力(V)は次式で表される。

$$V = V_0 + S_y v = V_0 + i S_y |u| \quad (2)$$

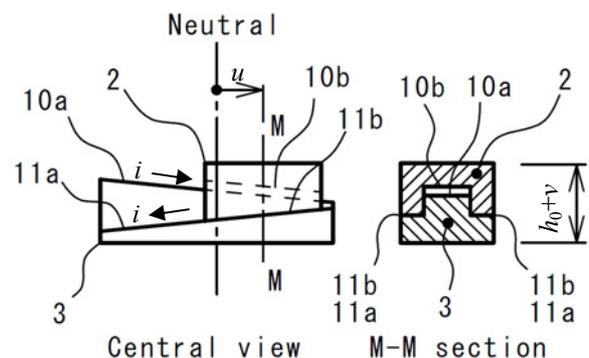


図-2 凹凸摺動機構の基本形状

キーワード：振動減衰装置, 変位比例摩擦力, 凹凸摺動機構, 平面摺動機構, U 型板ばね

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

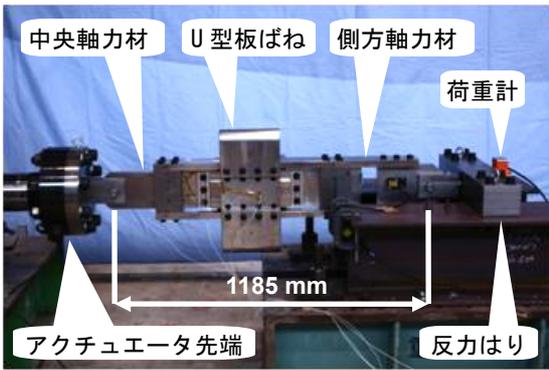


写真-1 振動減衰装置の外観

ここに、 V_0 は摺動機構の自重および与圧などによる初期圧縮力である。ただし、凹凸摺動機構、平面摺動機構および中央軸力材の圧縮変形を無視する。

式の詳細な誘導は省略するが、減衰装置の軸力(H)と変位(u)の関係は次式で表される。

$$H = \lambda V = \lambda(V_0 + iS_y |u|) \quad (3)$$

λ は摺動面の勾配(i)、凹凸摺動機構の動摩擦係数(μ_c)、平面摺動機構の動摩擦係数(μ_f)および変位(u)と速度(\dot{u})の符号で定まる次式の運動抵抗係数である。

$$\lambda = \begin{cases} \mu_f + (\mu_c + i)(1 - i\mu_c)^{-1}, & u > 0, \dot{u} > 0 \\ -\mu_f - (\mu_c - i)(1 + i\mu_c)^{-1}, & u > 0, \dot{u} < 0 \\ -\mu_f - (\mu_c + i)(1 - i\mu_c)^{-1}, & u < 0, \dot{u} < 0 \\ \mu_f + (\mu_c - i)(1 + i\mu_c)^{-1}, & u < 0, \dot{u} > 0 \end{cases} \quad (4)$$

4. 往復载荷試験

式(3)と式(4)の妥当性を検証するために、最大振幅20mm・最大減衰力10kNの減衰装置を試作し、その往復载荷試験を実施した。写真-1に減衰装置の外観を示す。長周期構造物の制震対策を前提とするため、载荷方法は振動数0.2Hz(周期5sec.)の正弦波形とした。往復回数は1回(Test-A)、連続往復10回(Test-B)とした。

表-1に各摺動体の諸元を示す。摺動機構を構成する二つの摺動体の材質はそれぞれ青銅鋳物(CAC406C)とステンレス鋼(SUS304)とした。銅合金系の摺動材としては固体潤滑作用のある鉛を含む青銅鋳物、リン青銅鋳物、鉛青銅鋳物などが利用されているが、本研究が開発の初期段階であることを考慮して、入手が容易で廉価な青銅鋳物を用いた。凹凸摺動機構の摺動面の勾配は2%とした。

別途実施した摺動試験で得られた凹凸摺動機構と平面摺動機構の動摩擦係数は、それぞれ0.23~0.35の範囲に分布した。摺動試験の振幅と平均摺動速度はそれぞれ20mmと1.76mm/sec.とした。見かけの摺動面圧は、凹凸摺動機構の場合と平面摺動機構の場合でそれぞれ0.024N/mm²と0.011N/mm²である。

また、別途実施した荷重試験で得られた抵抗リングのばね定数は37.5kN/mmであった。初期圧縮力として約1.9kN

表-1 各摺動体の諸元

名称(記号)[材質]	面記号	面幅×長さ (mm×mm)	接触面積 (mm ²)
凹(2)[CAC406C]	10b	72.2×220	14,916
	11b	33.9×220	14,916
凸(3)[SUS304]	10a	67.8×300	-
	11a	36.6×300	-
平面(5)[SUS304]	-	145×300	31,900
平面(6)[CAC406C]	-	145×220	

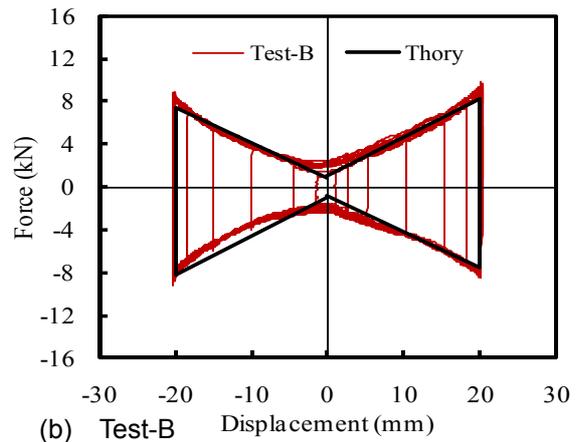
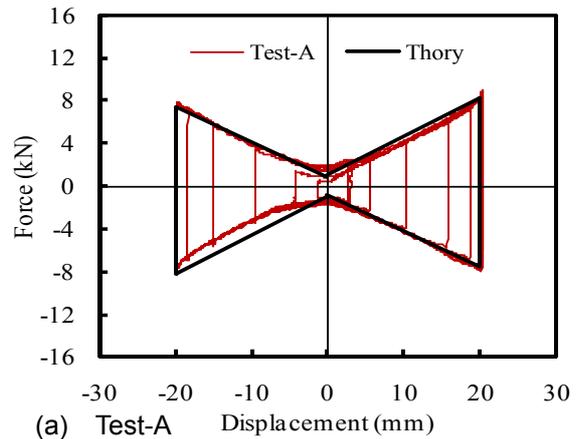


図-3 軸力と変位の履歴曲線

(リング変形0.05mm)の与圧を導入した。ばね定数、摺動面の勾配および最大変位20mmから推定した凹凸摺動機構の見かけの最大摺動面圧は1.1N/mm²であり、平面摺動機構のそれは0.53N/mm²である。

図-3は、試験で得られた減衰装置の軸力と変位の履歴曲線と、動摩擦係数を0.23として式(3)と式(4)で計算した履歴曲線の比較である。図から両者は良く対応していることが確認できる。他の実験結果については発表当日に説明する。

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.