

磁性材料を用いた振動減衰装置の開発

熊本大学 正員 ○山尾敏孝 福岡県庁 伊藤圭也

崇城大学 正員 平井一男 熊本大学 宮崎靖男 山鹿市役所 正員 西原大介

1. まえがき

1995年の兵庫県南部地震以降、地震時に対して構造物の固有周期を長周期化するとともに慣性力を低減もしくは分散させられることで、構造物の耐震性向上に有効であると考えられる免震支承を用いた免震構造が急速に普及してきた。免震構造の原理は、構造物の固有振動数の長周期化を図り、減衰性能を高めたりすることによって地震に対する応答を低減しようとするものである。そこで本研究は、文献1)で開発された電磁石と磁粉柱体を用いた減衰装置をさらに改良し、減衰装置としての可能性を繰り返し実験により検討した。特に、磁性材料と磁力による振動減衰体のせん断変形性能などの挙動特性を明らかにする。

2. 実験概要

図1に示すような実験装置を用いてせん断試験と引張り試験を行なった。磁粉を柱状にして磁場内に設置し（図1左の黒い部分）コイルを用いた上下電磁石により磁力を与え、磁粉により減衰効果を得るものである。引張り試験は上下電磁石の距離と磁力の関係を、せん断試験は、せん断変形を与える水平力 S と変位 u の関係を調べた。使用した電圧は最大30Vで電流 I は0.2～0.5Aであった。

図2はせん断試験より得られた、せん断応力 τ ($=S/A_m$ 、 A_m ：磁粉柱体の面積) とせん断ひずみ γ ($=u/\delta$ 、 δ ：磁粉柱体の高さ) の関係を示し、囲まれた履歴曲線の面積をエネルギー吸収量とした。ここではエネルギー吸収量、等価減衰定数、等価剛性などを用いて本装置の減衰性能を検討した。なお、等価減衰定数： H_{eq} 、等価剛性： K_{eq} は以下の式で定義した。

$$H_{eq} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta W}{W}, \quad K_{eq} = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\gamma_1 - \gamma_2} \quad (1)$$

ここで H_{eq} ；支承の等価減衰定数
 K_{eq} ；等価剛性
 W ；支承の弾性エネルギー（ひずみエネルギー）
 ΔW ；支承が吸収するエネルギーの合計

3. 理論値

今回の実験装置は上下同様の回路と見なすことができ、図3のように空隙 δ ($2\delta = D$) を持つ回路に簡略化できる。磁気浮上の理論に用いられる磁界・磁力・磁束密度の理論値をもとに、磁束密度 B 及び磁力 F は次式で算定される。ここに μ 、 μ_0 は真空及び鉄の透磁率で、 $S_1 \div 3S_2$ である。

$$B = \frac{\phi}{S} = \frac{3\mu\mu_0 NI}{\mu_0 \ell + 6\mu\delta} \quad [T], \quad F = \frac{B^2 S}{2\mu_0} \quad [N] \quad (2)$$

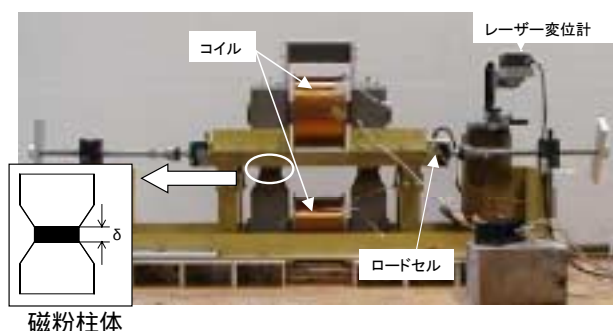


図1 実験装置

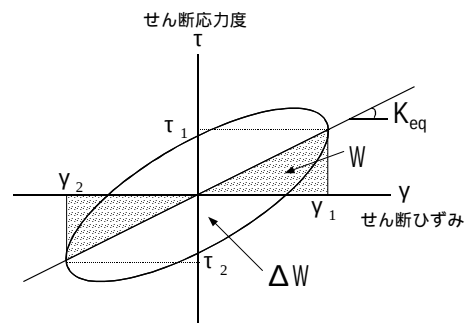


図2 等価減衰定数、等価減衰の算出

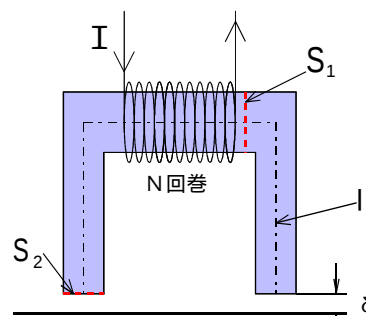


図3 鉄心入りソレノイド

キーワード：磁粉材料、せん断試験、等価減衰定数、等価剛性、履歴曲線
 連絡先（熊本市黒髪2-39-1・電話 096-342-3533・FAX 096-342-3507）

4.実験結果と考察

式(2)より磁束密度 B は距離 D に関係するので、磁力 F と距離 D の関係は図4のようになる。つまり D が小さくなるに連れて磁力が無限大に増加することになり、実際の計測値でもその傾向を示している。しかし鉄の磁気飽和や磁束漏れ等の要因、実験装置の不備により誤差が生じている。なお、理論値の式に磁束漏れや磁気飽和などの影響が考慮できれば、図4に示す理論値と計測値との誤差が小さくなると考えられる。以上より、磁力は磁石からの距離の2乗に反比例し、かつ磁石の近傍では飽和する傾向をもつと考えられる。

せん断試験は、水平荷重を受ける場合の履歴挙動特性を明らかにするものである。図5は正負繰返し漸増試験を行ったもので、図6は高減衰ゴム支承（HDR）の履歴曲線³⁾を示す。図5より磁粉を用いたこの免震装置は、せん断ひずみ γ が200%までは緩やかに増加し、200%からは一定値を示している。一方、高減衰ゴム支承の履歴曲線は300%までせん断ひずみの増加に伴いせん断応力度も増加している。図7、8は、コイル1個に流れる電流 I (A) を0.2A、0.5Aと変化した時の減衰効果を調べた結果を示した。なお、磁粉密度 $\rho = 2.5 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^2$ 、磁粉柱体の高さ d を3mmと固定した。図7、8はせん断ひずみ γ が50%、100%、150%、200%での等価剛性及び等価減衰定数との関係を示しているが、等価剛性、つまりせん断応力はせん断ひずみ γ が増加するに従って低下している。また、電流 I は大きいほど効果があることがわかる。一方、等価減衰定数はせん断ひずみの増加により緩やかに減少し、電流の大きさにはあまり影響を受けていないことが分かる。

最後に文献²⁾で使用された現行の高減衰ゴム支承（HDR）と本実験装置とを等価減衰定数 H_{eq} の面から比較した。現行高減衰ゴム支承はG12相当のゴム材料の等価減衰定数を示している。なお、実験値は磁粉柱体高さ $d=3\text{mm}$ 、コイル1個に流れる電流 $I=0.5\text{A}$ 、磁粉密度 $\rho = 2.5 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^2$ を用いた結果である。図9は高減衰ゴム支承と本試験で得られた等価減衰定数の比較を示したもので、本装置の等価減衰定数は現行HDRの約2倍の値が出ていることがわかる。現在、高減衰ゴム支承は減衰性能が等価減衰定数で0.2以下であることが問題になっているため等価減衰定数の向上が求められている。つまり大きな等価減衰定数が得られることが本装置の特徴の1つである。

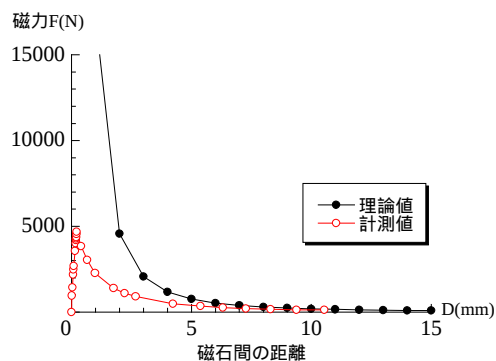


図4 磁束密度 B - 距離 D の関係

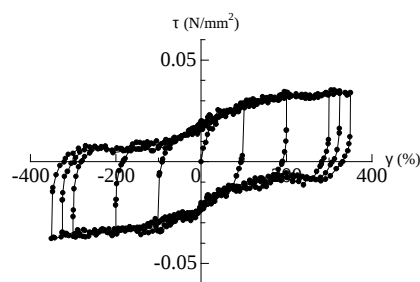


図5 履歴曲線

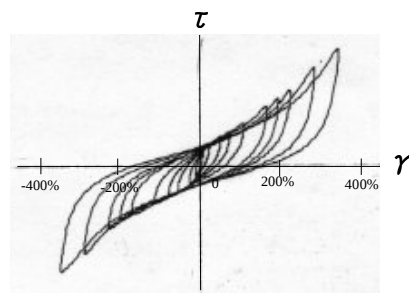


図6 HDR 履歴曲線

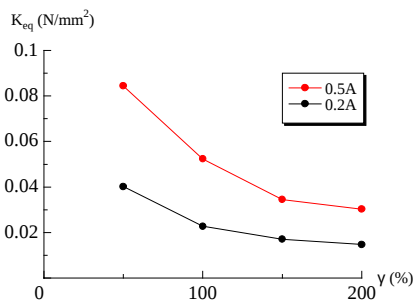


図7 等価剛性

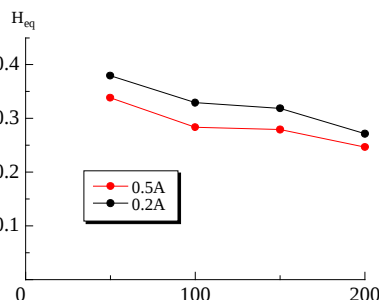


図8 等価減衰定数

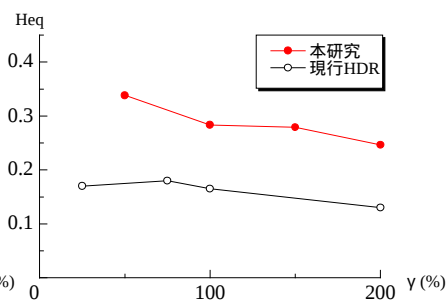


図9 等価減衰定数の比較

参考文献

- 1) 小山和幸：磁化磁性粉体のひずみ - 応力度特性に関する研究、平成12年度崇城大学大学院工学研究科修士論文、2001.
- 2) 越峠雅博、島田淳 著：超減衰ゴム支承の開発、第2回免震・制振コロキウム講演論文集、pp.149-156、2000