

圧電複合材料を利用した機械的ダンパー

Mechanical damper utilizing piezoelectric composites

代表研究者 上智大学理工学部物理学科助教授 内野 研二
Assoc. Prof., Dept. of Physics, Sophia Univ.
Kenji UCHINO

協同研究者 東京工業大学工学部有機材料工学科助教授 住田 雅夫
Assoc. Prof., Dept. of Organic and Polymeric Materials,
Tokyo Inst. of Techn.
Masao SUMITA

New piezoelectric mechanical dampers have been fabricated using composites of piezoelectric ceramic : polymer : carbon black. Significant vibrational damping was observed in the composites with a ceramic volume fraction more than 50%. Damping characteristics are controllable by changing the conductivity through the carbon black concentration.

研究目的

圧電セラミックスは制振に有効である。我々は以前に圧電セラミックスがダンパーとして利用できることを報告した¹⁾。制振させたい物体に圧電セラミックスを貼付することを考える。圧電セラミックスに振動伝達すると振動のエネルギーは、圧電効果によって、電気的エネルギーに変換され、セラミックスに交流電圧が発生する。ここで圧電セラミックスが、電気的にオープンあるいはショート状態であると、発生した電気エネルギーはロスがなく、再び振動のエネルギーに戻りこれを繰り返すことによって振動は続く。しかし、適当な抵抗を接続してやると、電気的に変換されたエネルギーが、抵抗でジュール熱として消費され、機械的エネルギーに戻る分が減少するため、振動を早く減衰させることができる。この接続抵抗を R 、圧電セラミックスの容量を C 、減衰させたい振動の振動数を ω としてときに、インピーダンスの整合条件の、 $R=1/\omega C$ を満足するように選んでやると、最も早く減衰する¹⁾。また、減衰時定数は接続抵抗によって自由に变化させることもできる。

しかしこうしたセラミックスは硬くてもろいため直接機械系に組み込みづらいという問題があった。このため我々は実用性や施工性を考慮し、適度な柔軟性のあるポリマーとの複合材料を利用したダンパー（制振用圧電複合材料）を作製することを試みた。

研究経過

高分子材料にカーボン・ブラック (CB) のような導電性粒子を混合するとき、粒子の充填量を増してゆくと、ある臨界充填量近傍で複合系の導電率が 10 桁近く増大する²⁾。したがって、高分子と圧電セラミックス粉末とカーボン・ブラックとの

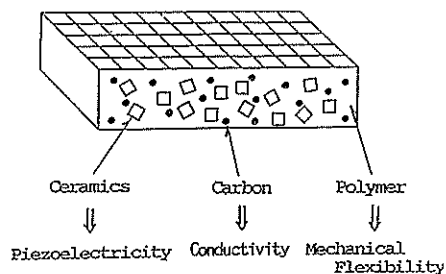


Fig. 1. Piezo-ceramic : Polymer : Carbon composite for mechanical dampers.

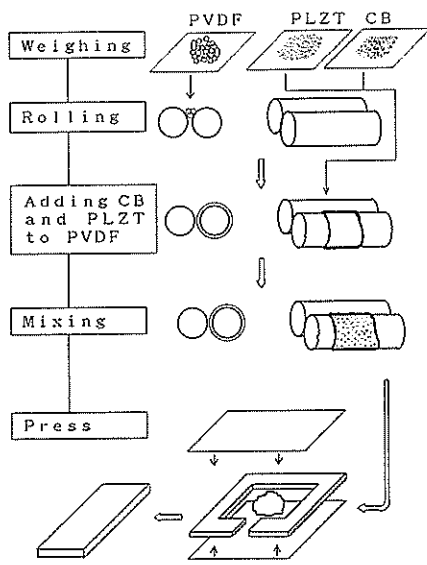


Fig. 2. Process of making samples.

複合材料を作製すると (Fig. 1 参照), 複合材料の導電率は、わずかなカーボン・ブラックの添加によって大きく変化させることができる。つまり外付け抵抗の代わりに、複合材料の導電率を適当に選ぶことによって、一つ一つのセラミックス粉末が、カーボン粒子によって回路をつくり、前に述べたのと同様の原理で振動のエネルギーを消費することができる。

本研究では、圧電セラミックスに、圧電定数の大きな PLZT (7/65/35), ポリマーにはポリフッ化ビニリデン (PVDF) を使用した。PVDF, PLZT, CB を体積比で混合し、PLZT を 40% と 50% に固定した試料を作製した。試料は 200°C で軟化させた PVDF に、CB, PLZT 粉末を加え、混練して、短時間でプレスした。Fig. 2 に作製プロセスのフローチャートを示した。厚さ 0.5 mm のシートの導電率を測定し、安定しているものを、縦 100 mm, 横 15 mm に切り、片端を万力で固定し、パルス駆動モータで初期先端変位を与えたときの残留振動を非接触変位センサ (Kaman, SDP-2300) を使って検出し、振幅が $1/e$ になるまでの時間

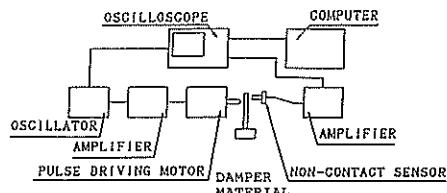


Fig. 3. Mechanical vibration measuring system.

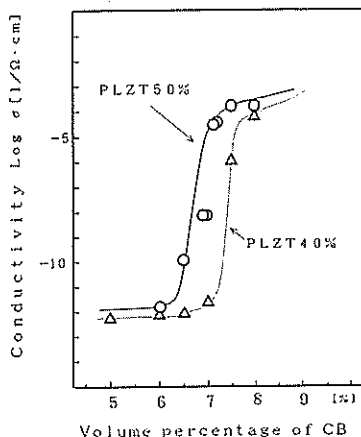


Fig. 4. Relation between conductivity and volume percentage of CB.

(減衰時間数) を求めた。Fig. 3 に測定系を示す。
研究成果

まず Fig. 4 にカーボンの体積分率に対する導電率の変化を示す。試料の導電率はカーボンの体積分率によって大きく変化する。導電率が急激に変化し始めるときの、カーボンの体積分率をパーコレーション・スレッシュホールドというが、その値は PLZT が 40% のときに 7%, PLZT を 50% 加えたときに 6% となり PLZT の割合が大きい方が値は小さくなった。この違いはカーボンの体積分率がポリマーに対するものではなく、複合材料全体に対するものであることと、カーボン粒子がそれより粒径の大きなセラミックス粒子の周りに凝集するため、セラミックスの割合が多い方が導体回路を形成しやすいためと考えられる。

このような試料の振動の減衰時定数を測定し、カーボンの体積分率との関係を Fig. 5(a), (b) に示した。Fig. 5(a) は PLZT を 40% 加えた試料を

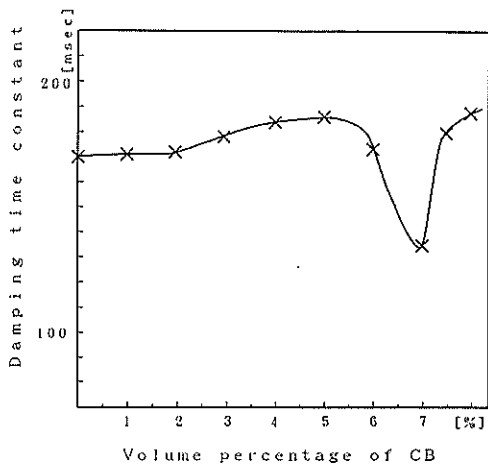


Fig. 5(a). Relation between damping time constant and volume percentage of CB (PLZT 40%).

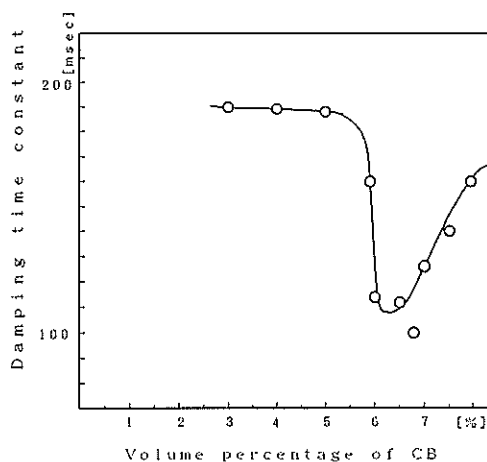


Fig. 5(b). Relation between damping time constant and volume percentage of CB (PLZT 50%).

100 Hz で振動させた（試料の固有振動数を 100 Hz に統一）ときのカーボンの体積分率に対する減衰時定数の関係であり、100 Hz という値は測定しやすさから決めたものである。カーボンの体積分率が 7% 付近で、減衰時定数が小さくなり、振動が速く減衰することが分かる。またこの値はパーコレーションスレッシュホールドとだいたい等しくなり、試料の導電率が最大と最小の中間的な値をとっているときであることがわかる。Fig.

5(b) に PLZT を 50% 加えた試料を 100 Hz で振動させたときの、カーボンの体積分率に対する減衰時定数の関係を示すが、カーボンの体積分率が 6% 付近で減衰時定数が小さくなることが分かる。Fig. 5 の (a) と (b) を比べると減衰時定数は PLZT を 50% 加えたときの方が小さくなるが、カーボンの体積分率が小さいとき（4% 以下）は PLZT を 40% 加えた試料の方が減衰時定数は小さな値となった。これは一般的に PLZT が多い方が弾性的に硬く機械的 Q が大きいためであろう。

Fig. 5(a), (b) での減衰効果が最も大きいカーボンの体積分率は図 4 から複合材料の導電率はあまり高くないところであることが分かるが、これはカーボン・ブラックが網目構造になり始めているが全体的には導体回路が完全にできていない状態で、複合材料の内部、すなわちセラミックス粒子の周りでカーボン・ブラックが部分的に適度な導電率の回路を形成しているためであろうと考えられる。今後、顕微鏡等による観察が必要である。また、PLZT が 40% の場合は 50% 加えた場合に比べ、大きな効果はなく、圧電セラミックスの割合はかなり大きいことが望まれる。

ここで $R=1/\omega C$ という関係を考えて、試料の固有振動数を高くすると、Fig. 5 の曲線は若干右にずれることが予想される。つまり、固有振動数に対応する適当な導電率を選ぶことによって制振効果が現れる。

今後の課題と発展

圧電セラミックスを用いたダンパーの変形として、PVDF と PLZT とカーボン・ブラックとの圧電複合材料を利用したダンパーを作製し、カーボンの体積分率に対する減衰時定数の関係を調べた結果、以下のことが分かった。

1. 圧電複合材料を利用したダンパーは、圧電セラミックスに抵抗を接続した場合と同様に、制振に有効であることが確認された。このとき圧電セラミックスは体積分率で 50% 以上が望ましい。
2. 特定の振動数に対応する導電率を選ぶことによって効果が現れるため、作製する段階で目的の減衰させる振動数に対応する導電率を

カーボン・ブラックの量によってコントロールする必要がある。

しかし、ポリマーに PVDF を使用した場合、導電率の変化が急激であるため試料の作製が若干困難であることが今後の課題であろう。カーボン・ブラックの体積分率に対し導電率が緩やかに変化するポリマーの採用が考えられる。

Fig. 5(b) から分かるようにカーボンの体積分率によって最大 50% 近く早く減衰した。しかし本実験では、試料の屈曲振動モードを用いたため、圧電効果による電気機械結合係数（エネルギー変換の効率）は小さい。縦振動モードなどを利用できる応用で減衰特性をさらに向上させるこ

とができよう。

参考文献

- 1) 内野研二, 石井孝明: 日本セラミックス協会学術論文誌, 96, 863~867 (1988).
- 2) 住田雅夫: 日本接着協会誌, 23, 102~111 (1987).

発表論文

- 1) 内野研二, 鈴木洋二, 住田雅夫, 合田裕憲: 圧電複合材料を利用した機械的ダンパー, 第38回応用物理学関係連合講演会予稿集 30pY/17 (1991, 春)。
- 2) 鈴木洋二, 内野研二, 合田裕憲, 住田雅夫, R. E. Newnham, A. R. Ramachandran: 圧電複合材料を利用した機械的ダンパ, 日本セラミックス協会学術論文誌 (投稿中)。