Note

Compression Loss Tangent of Micro-Cell Polyurethane Foams in which Bonding Tape Made of Acryl Foam is Sandwiched

Hiromasa ADACHI

*Nagoya Municipal Industrial Research Institute
3-4-41, Rokuban, Atsuta-ku, Nagoya 456-0058, Japan*

Temperature and frequency characteristics of compression loss tangent of micro-cell polyurethane foams in which bonding tape made by acryl foam was sandwiched, were investigated by dynamic viscoelastic measurements. The larger the thickness of bonding tape or the smaller the storage modulus of the micro cell polyurethane foam, the loss tangent of compound model type sample in normal temperature become to be larger. Therefore, the larger the difference of the storage modulus, the loss tangent of compound model type sample may be larger by the hysteresis of the tension and compression deformation.

Key Words: Polyurethane foam / Acryl foam / Dynamic modulus / Viscoelastic measurement / Loss tangent

アクリルフォーム接合テープを挟んだ マイクロセルポリウレタンフォームの圧縮損失正接

足立 廣正

(原稿受理：2007年12月5日)

1. 緒 言

マイクロセルポリウレタンフォームは従来のポリウレタンフォームと異なり、微細で均一なセル構造をもつウレタンフォームであり、小さな圧縮残留ひずみ、優れたシール性、エネルギー吸収性、寸法安定性などにより情報機器、家電・AV機器、スポーツ・メディカル製品、自動車部品などに使われている。¹⁾人々の居住環境の快適性への欲求は騒音、振動の低減を促し、マイクロセルポリウレタンフォームのような軟質材の振動減衰能に対する関心は高まっており、制振材の開発が多く企業で行われている。軟質材の振動減衰能の評価には動的粘弾性測定が適しており、高分子材料において振動減衰能を示す指標として動的粘弾性パラメータである損失正接が用いられることが多い。²⁾長谷³⁾は熱可塑性エラストマー(TPE)の制振性を動的粘弾性挙動から説明してTPEのブレンド、短繊維補強による制振性の改善について検討した。東山⁴⁾はポリマーアロイ型のTPEについて損失正接で評価した。岸⁵⁾はCTBNとエポキシ樹脂とのブレンドについて動的粘弾性とTEM観察について検討して拘束型制振鋼板の制振性について評価した。

振動減衰能以外にも高分子材料の動的粘弾性測定による評価が多く行われている。著者ら^{6,7)}はマイクロセルポリウレタンフォームの動的粘弾性測定を行い、動的圧縮弾性率と力

学特性との関係、動的圧縮弾性率、損失正接による耐熱性について明らかにした。邸ら^{8,9)}は高分子材料の高次構造と動的粘弾性パラメータである動的弾性率、損失正接で疲労破壊の進行する過程を解析することにより耐久性に関する疲労破壊の評価を行った。伊奈ら¹⁰⁾はエポキシ樹脂注型品において硬化過渡挙動のシミュレーションの精度検証としてゲル化点と硬化点を動的粘弾性測定の時間変化により求めた。柏原ら¹¹⁾はナイロン6の等温結晶化を動的粘弾性測定の時間変化により、成瀬ら¹²⁾はゴム材料の劣化度を動的粘弾性測定の温度依存性により評価した。市川¹³⁾は接着剤・シール剤における塗布工程の評価に動的粘弾性測定の応力依存性、周波数依存性を用い、エポキシ樹脂の硬化挙動の観察に動的粘弾性測定の時間変化を用いた。

現在、マイカや炭酸カルシウムの添加や異なるガラス転移領域をもつ高分子材料のブレンドによる振動減衰能の評価は多く行われているが、違う高分子材料を積層した試料の動的粘弾性測定による振動減衰能の評価は行われていない。本研究では、アクリルフォーム構造用接合テープを挟んだマイクロセルポリウレタンフォームの複合型試料について、振動減衰能の評価パラメータである損失正接を測定してテープの厚みと損失正接との関係、マイクロセルポリウレタンフォームの貯蔵弾性率と損失正接との関係を明らかにした。

2. 試料と実験方法

マイクロセルポリウレタンフォームの製造では、ポリオールとイソシアナートとの反応によりポリウレタンを生成させると同時に、不活性ガスを混入して高速攪拌でフォームを強制的に作る。この方法は機械発泡法（気体混入法）と呼ばれ、一般に化学発泡法とよばれる水を使用する方法に比べて高比重かつ微細気泡のウレタンフォームができる。4種類のマイクロセルポリウレタンフォームは㈱ロジャースイノアック製の商品名“ポロン”で、物性をTable Iに示す。静的弾性率、25%圧縮応力は㈱島津製作所製小型卓上試験機EZ Testを使用して、縦13 mm、横13 mm、厚さ5 mmの四角柱の試料に対して試験速度3 mm/minで試験片を圧縮し、荷重-ひずみ線図のひずみ2~7%における傾きおよびひずみ25%における荷重より求めたものである。使用した接着テープはFig. 1に試料の断面を示すが、住友スリーエム（株）製のアクリルフォーム接着テープでアクリルフォーム基材の両側にアクリル系粘着剤をもつものである。物性をTable IIに示す。なお、Table IIの物性値はメーカーのカatalog値である。

測定した試料はアクリルフォーム接着テープをマイクロセルポリウレタンフォームのSample 1~4で挟んだものである。厚みはSample 1~4が5 mm、テープが0.25, 0.40, 0.64, 1.14 mmである。以下において複合型試料と表現する。

粘弾性測定装置（㈱レオロジ製DVE-V4）により虚数部と実数部との位相差の正接である損失正接($\tan\delta$)を求めた。縦13 mm、横3.42~11.14 mm、厚さ13 mmの四角柱の複合型試料に対して圧縮用の治具を使用し、下の円盤状治具の上に試料を置いてから上の円盤状の治具を下げ、試料に20%の静的ひずみを与えて、損失正接を求めた。以下において圧縮モードと表現する。測定条件はすべて静的ひずみ20%、振動振幅30 μm 、周波数8 Hz、温度26 $^{\circ}\text{C}$ である。

Table I. Physical properties of samples.

Sample code	Foam density (kg/m^3)	Compression Modulus of elasticity (MPa)	Compression stress at 25% deformation (MPa)
1	200	0.19	0.26
2	320	0.31	0.46
3	240	0.44	0.47
4	240	0.51	0.77

Fig. 1. A section of acrylic tape.

Table II. Physical properties of samples.

Sample code	density (kg/m^3)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	25% compression strength (MPa)
5	750	1.2	600	1.3

3. 結果と考察

Fig. 2は複合型試料においてSample 1~4のそれぞれの試料について挟まれたテープの厚みが0.25, 0.40, 0.64, 1.14 mmの場合におけるテープの厚みと複合型試料の損失正接との関係である。図中で厚み0は試料1~4のみの場合である。図中でたとえばSample 1T1とはSample 1でテープを挟んだ複合型試料を意味する。また、図中に複合型試料に加わる振動方向を示してある。すべての複合型試料においてテープの厚みが増すほど損失正接は大きくなり、Sample 3T3においては試料3のみと複合型試料との損失正接の差は他の複合型試料より大きい。テープそのままでは厚みが小さすぎて測定できないので厚み1.14 mmのテープを3枚重ねた状態で測定を行ったところ損失正接は0.921であった。これは複合型試料の損失正接0.230~0.812と比べて大きく、テープの厚みが増すほど弾性率の大きいアクリルフォーム接着テープの損失正接に近づくといえる。実用的に自動車分野において多く使われている粘弾性高分子材料を鋼板の表面に貼り付けた非拘束型制振鋼板、粘弾性高分子材料を鋼板で挟んだ拘束型制振鋼板において、前者は曲げ振動にともなう粘弾性高分子材の伸び変形を利用しており、後者は曲げ振動にともなう粘弾性高分子材のせん断変形を利用している。樹脂の種類、厚みが同じであれば拘束型制振鋼板が非拘束型制振鋼板より制振性能が良い。粘弾性高分子材にあたるテープの両面にSample 1~4を貼り付けている当複合型試料の場合は拘束型制振鋼板と同じ三層であるが、弾性率の大きい鋼板で弾性率の小さい粘弾性高分子材を挟む拘束型制振鋼板と異なり、弾性率の小さいマイクロセルポリウレタンフォームで弾性率の大きいアクリルフォーム接着テープを挟んでいる。また、当複合試料において変形様式が伸びと縮みを繰り返す伸縮変形である点が非拘束型制振鋼板に似ている。マイクロセルポリウレタンフォームとアクリルフォーム接着テープの損失正接の値から複合型試料の損失正接は複合材における弾性率の複合則に近い式が推測されるが、厚みの小さいテープの損失正接が大きく反映されていることから、変形様式である伸縮変形の違いが複合型試料の損失正接に大きく影響を与えていると

Fig. 2. Dependence of loss tangent on the thickness of acrylic tape. Static strain 20%, vibration amplitude 30 μm , frequency 8 Hz, temperature 26 $^{\circ}\text{C}$.

Fig. 3. Dependence of loss tangent on the storage modulus. Static strain 20 %, vibration amplitude 30 μ m, frequency 8 Hz, temperature 26 $^{\circ}$ C.

考えられる。

Fig. 3はSample 1~4の貯蔵弾性率と複合型試料の損失正接との関係で、テープの厚みが0.25, 0.40, 0.64, 1.14 mmの場合について比較してある。厚みが0とは試料1~4のみの場合である。複合型試料において貯蔵弾性率が大きくなるほど損失正接は小さくなる傾向にあるが、厚みが0.64, 1.14 mmの場合においてその傾向が大きい。試料1~4のみの場合はその傾向はない。厚み1.14 mmのテープを3枚重ねて圧縮モードにより測定を行ったところ、貯蔵弾性率は6730kPaであった。Sample 1~4の貯蔵弾性率は順に94, 255, 1149, 645kPaでありテープに比べてきわめて小さいので、Sample 1~4の貯蔵弾性率が大きくなるほど複合型試料におけるSample 1~4とテープとの貯蔵弾性率差は小さくなる。このことは、非拘束型、拘束型制振鋼板の場合において鋼板と粘弾性高分子材との弾性率差が大きくなるほど伸縮あるいはせん断変形のヒステレシスにより制振性能が良くなるのと類似している。マイクロセルポリウレタンフォームとアクリルフォーム接合テープとの弾性率差が大きくなるほど、伸縮振動にともなう伸縮変形のヒステレシスにより損失正接が大きくなると考えられる。したがって、弾性率の大きく異なる材料の複合化により振動減衰能が向上する可能性がある。

4. 結 論

マイクロセルポリウレタンフォームにアクリルフォーム接合テープを挟んだ複合型試料に対して圧縮モードで動的粘弾性測定を行い、損失正接を求めた。アクリルフォーム構造用接合テープの厚いほど、マイクロセルポリウレタンフォームの貯蔵弾性率が小さいほど常温における損失正接は大きくなることがわかった。これはアクリルフォーム構造用接合テープとマイクロセルポリウレタンフォームとの弾性率の違いによる伸縮変形のヒステレシスに起因すると考えられる。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、試料の提供をしていただいた株式会社イノアックコーポレーションに謝意を表します。

REFERENCES

- 1) Furukawa M and others, "Saishin Polyurethane no Sekkei and Kaishitsu to Kokinoka Gijutsuzenshu", Gijutsu Zyoho Kyokai (2007).
- 2) Sumida M, Inoue K, *Kogyo Zairyo*, **49**, 9, 26 (2001).
- 3) Hase T, *Nippon Gomu Kyokaishi*, **74**, 237 (2001).
- 4) Higashiyama K, *Kogyo Zairyo*, **49**, 9, 32 (2001).
- 5) Kishi H, Kobayashi Y, Nagao A, Matsuda S, Asami T, Murakami A, *Nihon Setchaku Gakkaishi*, **42**, 264 (2006).
- 6) Adachi H, *Nihon Reoroji Gakkaishi*, **63**, 273 (2006).
- 7) Adachi H, *Nihon Reoroji Gakkaishi*, **63**, 645 (2006).
- 8) Qiu J, Kawagoe M, Mizuno W, Morita M, *Kobunshi Ronbunshu*, **56**, 255 (2000).
- 9) Qiu J, *Nihon Kikai Gakkai Ronbunshu A*, **68**, 266 (2002).
- 10) Ina O, Ishikawa T, Sugiura A, Narita R, *Nihon Setchaku Gakkaishi*, **39**, 355 (2003).
- 11) Kashiara H, Takahashi M, Urayama K, Takigawa T, *Zairyo*, **54**, 55 (2005).
- 12) Naruse T, Hattori T, Yamaguchi Y, Kanai T, Sekiya T, *Zairyo*, **54**, 290 (2005).
- 13) Ichikawa N, *Nihon Setchaku Gakkaishi*, **41**, 281 (2005).