

動的粘弾性測定によるゴムのエネルギー吸収性の評価

武蔵工業大学	学生会員	○丸山健司
武蔵工業大学	正会員	皆川 勝
武蔵工業大学	非会員	飯島正徳

1. 研究背景

大地震が発生した際、隣接桁間・桁と橋台間では衝突が発生し、その際高い衝突力が作用する。これにより桁・橋台、さらには落橋防止構造までもが損壊し、落橋に至る危険性が高い。これを受けて、大地震時に隣接桁間・桁と橋台間で生じる衝突力を緩和するため、緩衝材を設置することが推奨されている¹⁾。

この緩衝材に求められる性能として、衝突力の低減効果とエネルギーの吸収性が挙げられる。現在では、鋼材等に比べ剛性が低く、衝突力の低減効果に優れること、繰り返し衝突に対応できること、比較的低コストであることなどから、緩衝材としてゴムが用いられる機会が多くなっている。

2. 研究目的

ゴムには弾性と粘性を併せ持つ粘弾性²⁾という性質がある。このため、ゴムが発揮する性能は外力の周波数より変化する。また、ゴム弾性は分子鎖のミクロブラウン運動に起因するため、温度により性能が変化する。このため、本研究では、緩衝材や防振に使用される四種類のゴムに着目し、外力の周波数と温度によるエネルギー吸収性の变化を動的粘弾性測定(Dynamic Mechanical Analysis: DMA)により評価した。

4. 動的粘弾性測定(DMA)

DMA とは、動的粘弾性測定装置を用い、試料に図-1 に示すような周期的に変動する応力を与え、発生するひずみを測定することにより、力学的応答から粘弾性を測定する方法である³⁾。DMA では応力の周波数や試料の温度を変化させることが可能で、エネルギー吸収性の周波数依存性や、温度依存性を測定することができる。

3. エネルギー吸収性の指標

ゴムの粘弾性は複素弾性率 E^* により式(1)で表される。ここで、貯蔵弾性率 E' は外力に対して同期的な応答である弾性成分を表し、損失弾性率 E'' は非同期的な応答である粘性成分を表している。

$$E^* = E' + iE'' \quad (1)$$

ゴムなど高分子材料のエネルギー吸収性を表す指標として正接損失 $\tan\delta$ ⁴⁾がある。これは式(2)に示すように E' と E'' の比で与えられる。本研究ではエネルギー吸収性の指標として $\tan\delta$ を用いた。

$$\tan\delta = E''/E' \quad (2)$$

5. 実験概要

[周波数依存性] 試料はクロロプレンゴム(CR)、天然ゴム(NR)、スチレンブタジエンゴム(SBR)、ブチルゴム(IIR)の四種類とし、補強材により、硬度を 65 度に調節したものを用いた。試料は図-2 に示すような直径 5 mm、厚さ 2 mm の円盤型とした。測定には Mettler Toledo 社製 DMA861[®] を使用し、変形モードはせん断で行った。装置の構造を図-3 に示す。外力の周波数は 0.1 ~ 100 Hz の範囲で行い、試料の温度制御は行わないものとした。

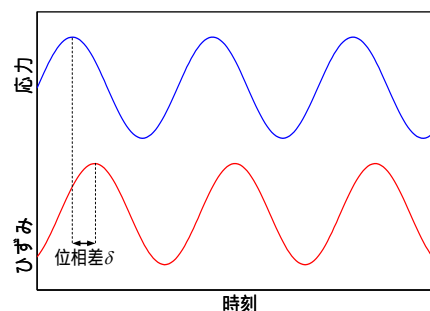


図-1 周期的な応力とひずみ

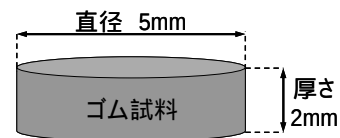


図-2 試料の形状と寸法

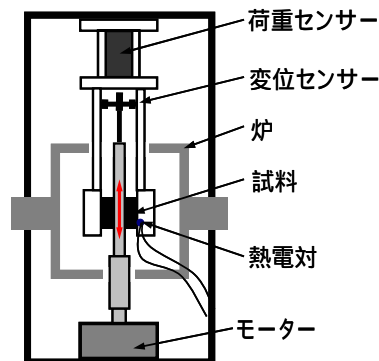


図-3 動的粘弾性測定装置の構造

キーワード：緩衝材，ゴム，エネルギー吸収性，動的粘弾性測定

連絡先：武蔵工業大学 工学部 都市基盤工学科 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 Tel&FAX 03-5707-2226

[温度依存性] 試料にはクロロプレンゴム(CR)を選択し、補強材を全く配合していない試料と、補強材により硬度を 65 度に調節した試料を用いた。試料の形状は図-4 に示すような厚さ 0.7 mm、長さ 50 mm、幅 10 mmの短冊状とした。測定にはセイコーインスツルメンツ社製 DMS6100 を用い、測定の周波数は 1Hz、温度範囲は-70 ～ 30 とし、変形モードは引張で行った。

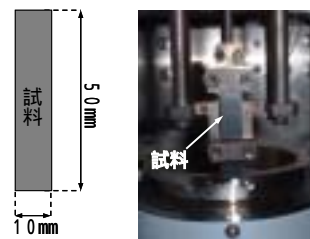


図-4 試料形状と試料の取り付け状況

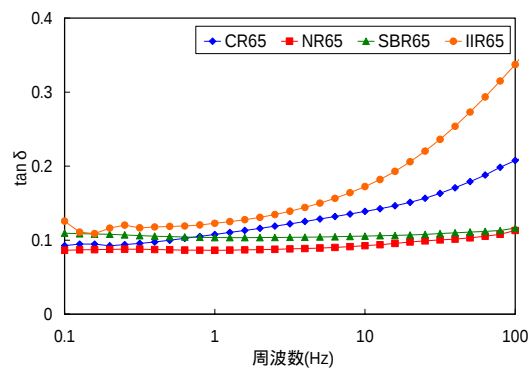


図-5 周波数による $\tan \delta$ の変化

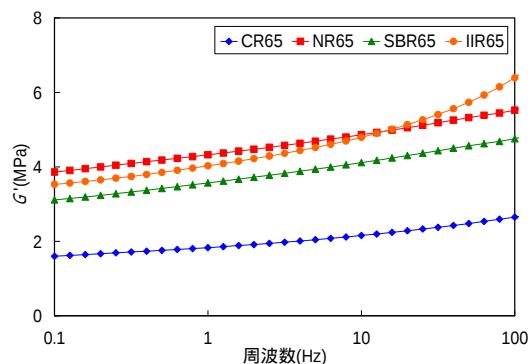


図-6 周波数による E' の変化

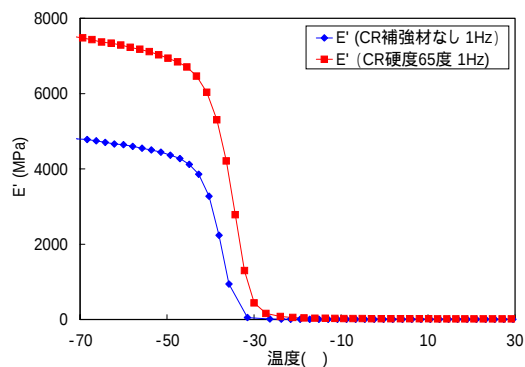


図-7 温度による E' の変化

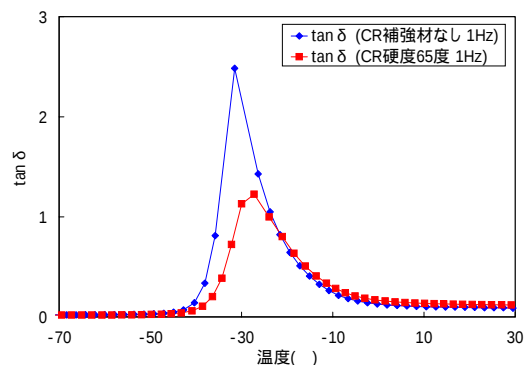


図-8 温度による $\tan \delta$ の変化

6. 実験結果及び考察

周波数と $\tan \delta$ の関係を図-5 に、周波数と貯蔵剛性率 G' の関係を図-6 に示す。図-5 から、0.1 ～ 100Hz において IIR や CR では外力の周波数が上昇するにつれてエネルギー吸収性は上昇し、NR や SBR ではエネルギー吸収性がほとんど変化しないことが分かる。このようにエネルギー吸収性の周波数依存性はゴムの種類により異なる。特に IIR は 10 ～ 100Hz 付近でのエネルギー吸収性が高いため防振や防音に適していることが分かる。一方、地震の周波数に近い 1 ～ 10Hz の領域では、IIR、CR、SBR、NR の順にエネルギー吸収性が高いことが分かる。このように、周波数依存性を明らかにすることで、用途によるゴムの使い分けが可能になると考えられる。

温度と E' の関係を図-7 に、温度と $\tan \delta$ の関係を図-8 に示す。図-7 に示すとおり、 E' は -30 付近で急激に変化する。この温度をガラス転移温度(T_g)といい、軟らかさを維持するためには、使用される温度よりもゴムの T_g を低くする必要がある。また、図-6 と図-7 を比較すると、 G' や E' は周波数に比べ、温度により急激に変化するため、ゴムの粘弾性にとって温度は重要な要因であると考えられる。図-8 から、ゴムの種類は同じでも、配合によりエネルギー吸収性の温度依存性は変化することが分かる。このことから、ゴムの種類はもとより、ゴムに配合される補強材や、可塑剤等により、エネルギー吸収性を変化させることができると考えられる。

7. まとめ

本研究では動的粘弾性測定を行い、ゴムのエネルギー吸収性の周波数依存性と温度依存性を測定した。その結果を以下にまとめる。

- ゴムのエネルギー吸収性は外力の周波数により変化する。
- エネルギー吸収性の周波数依存性はゴムの種類により異なる。
- IIR は 10 ～ 100Hz 付近でのエネルギー吸収性に優れている。
- 地震の周波数に近い 1 ～ 10Hz の周波数領域では、IIR、CR、SBR、NR の順にエネルギー吸収性が高い。
- ゴムの粘弾性は周波数に比べ、温度により急激に変化する。
- ゴムの種類が同じでも、配合により粘弾性は変化する。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，1996.12.
- 2) 村上謙吉：レオロジー基礎論，産業図書，1993.5.
- 3) 齋藤安俊：物質科学のための熱分析の基礎，共立出版，1990.12.
- 4) 戸原春彦：防振ゴム，日本鉄道車輛工業会，1975.8.