

熱量測定によるゴムのエネルギー吸収性能評価に関する研究

武蔵工業大学 学生会員 ○村田 昌祥

武蔵工業大学 飯島 正徳

武蔵工業大学 正会員 皆川 勝

武蔵工業大学 長田 剛

武蔵工業大学 正会員 佐藤 安雄

1. はじめに

大地震時の隣接桁間・桁と橋台間の衝突においては高いレベルの衝突力が作用する。そのことによって桁・橋台、さらには落橋防止構造までもが損壊して、落橋に至る危険性が高い。落橋に至った被害が兵庫県南部地震において多数見られ、そのことによって生じる人的被害や交通麻痺による復旧活動の遅延等の被害は甚大なものとなった。兵庫県南部地震の被害を受けて道路橋示方書が改訂され、落橋防止装置の見直しが行われた¹⁾。その中で、落橋や損壊の原因となった衝突力の作用を緩和するための緩衝材を設けることが推奨されている。したがって緩衝材には、衝突力の低減効果と衝撃エネルギーの吸収性が求められる。

衝突力を緩和する緩衝材の材質として、実用化の可能性やコストの観点からゴムが有望であると考えられている²⁾。また、ゴムは剛性が小さく可逆的な大変形が可能であるため繰り返し衝突への対処が必要な場合にでも適用できる。しかし、ゴムは十分な衝撃エネルギー吸収性を持っているとは必ずしも言えない。また、使用するゴムの材質の汎用的な性能評価法が確立されていないため、衝撃実験データや経験的な判断を基に決定されることが多い³⁾。

2. 研究目的

緩衝材に用いるゴムに着目し、ゴムのエネルギー吸収性を粘弾性特性から評価する。ゴムの力学的応答と熱的応答に相関関係があることから、本研究では温度変調示差走査熱量測定 [Temperature Modulated Differential Scanning Calorimetry (以下、TMDSC と略す)] によるゴムの性能評価法を確立する。これにより粘弾性特性を把握し、ゴムの種類、材質、加工といった観点からエネルギー吸収性の高いゴムを特定、あるいは開発することを目的とする。

3. 粘弾性特性

ゴムには粘弾性という特有の性質がある。ゴムに周期的に変動するひずみを与えると、それに対してひずみに同期的な応力成分と非同期的な応力成分が発生する。前者を弾性、後者を粘性といい、粘性がエネルギーを吸収する成分である。そして、これら二つを併せ持つ性質を粘弾性という。また、粘弾性を複素数表示すると複素弾性率は以下のように示すことができる。

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

ここで、 E' は貯蔵弾性率（弾性部）、 E'' は損失弾性率（粘性部）である。

熱的応答でもこれと同じことがいえる。ゴムに温度変調を与えると、温度変調に同期的な熱流束成分と非同期的な熱流束成分が発生する。そして、同じように複素数表示すると、複素比熱は力学的応答の貯蔵弾性率に対応する c' と損失弾性率に対応する c'' で示すことができる。ゴムの力学的応答と熱的応答には以上のような相関関係がある。

4. TMDSC によるエネルギー吸収性評価

ゴムの力学的応答と熱的応答には相関関係があることから、TMDSC により粘弾性特性を把握し、エネルギー吸収性を評価することを考えた。TMDSC とは、定速昇温に温度変調を加えて、試料に温度刺激を与えることにより熱的応答を測定する方法である。得られた結果から、 c' 及び c'' による複素比熱を求めることが可能であり、エネルギー吸収性の指標である $\tan \delta$ は次式で表すことができる⁴⁾。

$$\tan \delta = \frac{c''}{c'} \quad (2)$$

温度変化に対して、 c' 及び c'' は図-1 のように変化することが期待される⁵⁾。ことから、 $\tan \delta$ はガラス転移点でピークとなる。ゴムは温度が低いと分子運動性が低く（ガラス状態）、温度が上がると運動性が大きくなる（ゴム状態）。その境目をガラス転移点という。そして、エネルギー吸収性は $\tan \delta$ のピークの大きさを評価される。

キーワード：緩衝装置、免震橋、ゴム、衝撃エネルギー吸収性、熱量測定

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

5. 試験体の測定可能範囲の検証

解析方法としてメトラー・トレド社の推奨する方法（メトラー法）を用いている．しかし、メトラー法では熱容量（1℃上げるのに必要な熱量）による試料温度振幅の誤差を考慮していない．そこで、温度振幅に誤差が生じない測定可能範囲を検証した．検証方法として、比熱の既知であるアルミニウムとインジウムを用い、0.5℃の温度振幅を与えて測定を行った．そして、測定結果を用いて以下の式より試料温度振幅を算出した．

$$\tilde{A}_T = A_T \frac{C}{\tilde{C}} \left[\cos \phi - \sqrt{\frac{1}{A_T^2} \frac{|\dot{Q}_s - \dot{Q}_c|^2}{(C\omega)^2} - (1 - \cos^2 \phi)} \right] \quad (3)$$

ここで、 $\tilde{A}_T$ は試料温度振幅、 A_T は与えた熱の温度振幅、 $\tilde{C}$ は試料とパンを合わせた熱容量、 C はパンのみの熱容量、 ϕ は sample curve と calibration curve（共に熱流束）の位相差、 $\dot{Q}_s$ は sample curve の振幅、 $\dot{Q}_c$ は calibration curve の振幅、 ω は角振動数である．

算出した試料温度振幅と熱容量の関係を図-2 に示す．この結果より、熱容量が大きくなるにつれて試料温度振幅は小さくなる事が示された．そして、試料温度振幅に誤差を与えない測定可能範囲は熱容量が 0.025J/K までの範囲だと判断できる．ゴムにおいて、比熱が 1.1～2.0J/gK⁶⁾ であることから質量が 20mg 程度までの範囲が測定可能範囲である．

6. クロロプレングムのエネルギー吸収性評価

測定可能範囲内で TMDSC を用いて測定を行った．試験体は材料特性の異なる三種類のクロロプレングムを用いた．各々の材料特性とガラス転移温度を表-1 に、tan δ を図-3 にそれぞれ示す．

測定結果より tan δ のピークの大きさを比較すると、No.1、No.2、No.3 の順で大きくなった．このことから、No.1 が最もエネルギー吸収性が高いといえる．また、No.3 の市販のクロロプレングムではほとんどピークが見られない結果となった．以上より、同じ材質のゴムでも材料特性によりエネルギー吸収性は異なることが示された．

7. 結論

本研究では、ゴムの性能評価法が確立されていないことを受け、ゴムの粘弾性特性に着目し、熱量測定からエネルギー吸収性を評価することを試みた．その結果、tan δ のピークの大きさをエネルギー吸収性を比較できることを見出した．そして、同じ種類のゴムでも材料特性によりエネルギー吸収性は異なることが示された．

<参考文献>

1)日本道路協会編：「道路橋示方書・同解説，Ⅴ 耐震設計編」，1996.12. 2)川島一彦，庄司学：衝突緩衝用落橋防止システムによる桁間衝突の影響の低減効果，土木学会論文集，No.612/Ⅰ-46，pp.129-142，1999.1. 3)西本安志，園田佳巨，石川信隆，彦坂熙，西川信二郎：落橋防止用矩形状ゴム緩衝材の設計法に関する一考察，土木学会論文集，No.689/Ⅰ-57，pp335-360，2001.10. 4)イアン W. ハムレー：ソフトマター入門，シュプリングー・フェアラー東京株式会社，2002.10. 5)村上謙吉：レオロジー基礎論，産業図書株式会社，1999.12. 6) 国立天文台：理科年表 平成 15 年，丸善株式会社，pp.486-489，2002.11.

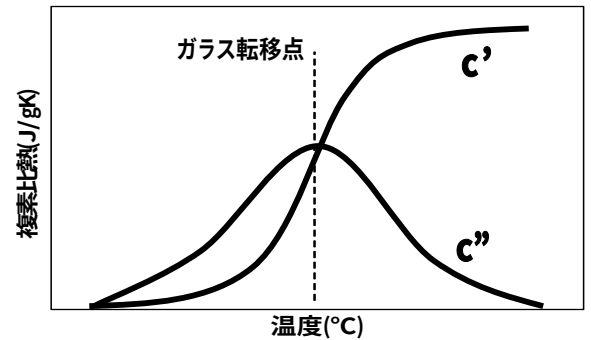


図-1 複素比熱の温度変化

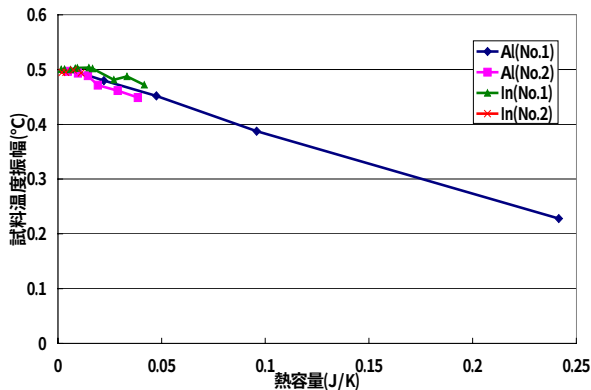


図-2 試料温度振幅－熱容量関係

表-1 試験体の材料特性

試験体	特徴	ガラス転移温度(℃)
No.1	加硫度が高い	-39
No.2	耐候性考慮	-51
No.3	市販	-40

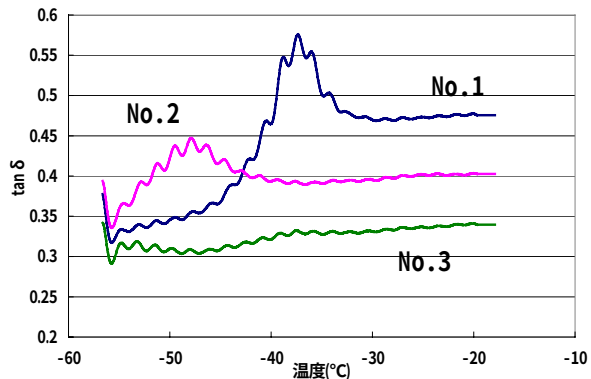


図-3 クロロプレングムの tan δ