

# 熱量測定によるゴム材のエネルギー吸収性能評価方法の確立に関する研究

学生氏名 黒川 恵介  
指導教員 飯島 正徳  
長田 剛  
皆川 勝

## 1. 背景

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荷重が作用する．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．兵庫県南部地震では、その大きなエネルギーにより桁間、桁と橋台間で衝突が生じ、落橋や橋梁の損壊の原因となった．そしてそれらによる人的被害や交通麻痺といった二次災害が多く発生した．このことを受けて、桁間、桁と橋台間で生じる衝突を緩和するシステムの開発が急務となっている．

緩衝材に求められる性能として衝突荷重の低減効果とエネルギーの吸収性能が挙げられる．緩衝材の材料としては、ゴムが多く用いられるようになっている．それは、衝突荷重の低減効果に優れており、さらに剛性が小さく可逆的な大変形が可能であるために繰り返し衝突への対処が必要な場合にでも適用できるからである．しかし、ゴムは十分なエネルギー吸収性能をもっているとは必ずしも言えない．また、ゴムのエネルギー吸収性能の評価方法が確立されておらず、経験やデータに基づいてゴムを決定しているのが現状である．

## 2. 目的

本研究では、ゴムのエネルギー吸収性能の評価方法を確立することを目的とする．静的載荷実験などの結果から得られる力学的応答と TMDSC (温度変調示差走査熱量測定: Temperature Modulated Differential Scanning Calorimetry) から得られる熱的応答には相関関係がある．さらに、衝撃時のエネルギーは熱に変化することで損失することから、エネルギー吸収性能を熱量測定により評価方法を確立することを目指す．

## 3. 評価方法

ゴムには粘弾性特性がある．この粘弾性は複素数表示で、 $E' + iE''$  [ $E'$ :貯蔵弾性率  $E''$ :損失弾性率]と示すことができ、損失弾性率はエネルギー吸収の大きさを示している．ゴムのエネルギー吸収性能の評価指標として  $\tan(\delta) = E''/E'$  がある．さらに比熱も複素数表示できるため、TMDSC で測定される複素比熱の  $\tan(\delta) = C''/C'$  によりエネルギー吸収性能を評価することを考案した．

## 4. 測定理論

DSC (示差走査熱量測定: Differential Scanning Calorimetry) とは、試料と基準物質を炉内に対称的において加熱 (冷却) し、両者に流れる熱量の差をホルダー下部についている熱伝対で測定、サンプルと基準物質の温度差から吸熱・発熱ピークを検出して、ピーク面積から反応にかかる熱量を求めるものである．

表 1 測定に用いる試料と基準物質

	sample	reference
①blank	pan	pan
②calibration	pan+蓋	pan
③sample	pan+蓋+試料	pan

## 5. 測定方法

DSC では試料の比熱を求めるため、blank・calibration・sample と 3 回測定する．それぞれの場合に試料 (sample) 及び基準物質 (reference) として置く物質を表 1 に示す．それぞれの熱流束より、以下の式 (1) を用いて比熱を求める．これをメトラー法という．

$$c_p = \frac{A_s - A_c}{(m_s - m_c)\omega A_T} \quad \dots (1)$$

ここで、 $A_s$ : sample curve の振幅、 $A_c$ : calibration curve の振幅、 $m_s$ : sample の質量、 $m_c$ : calibration の質量、 $\omega$ : 角振動数、 $A_T$ : 試料温度振幅．

キーワード 動的粘弾性 動的比熱 DSC  $\tan \delta$  損失弾性率 貯蔵弾性率

この測定により、ゴムの特性である粘弾性が変化するガラス転移点付近を評価する。ガラス転移点では粘性を示す  $C''$  が大きくなりピークを示す。この時、 $\tan \delta$  が最も大きくなることからガラス転移点付近のピークを評価する。このメトラ法を精度を評価するために、比熱が既知であるアルミニウム、インジウムの比熱をメトラ法で測定してみたところ、この方法では最大 10% 以上の誤差が生じることが判明した。これはメトラ法では試料自体の熱容量による試料温度振幅  $A_T$  の変化を考慮してないことによると考えた。

### 6. 熱容量スケールリング法の提案

測定精度を向上させるために、この試料温度振幅を実際の振幅に近づける方法を考案した。すなわち、試料温度振幅  $A_T$  が試料の大きさによって変わることから、二つの関係を導くことにより試料温度振幅を算出する方法であり、これを熱容量スケールリング法と呼ぶ。有効試料温度振幅  $\tilde{A}_T$  は得られた位相差と熱流束を用いると (2) 式のように表すことができる。

$$\tilde{A}_T = \frac{CA_T}{\tilde{C}} \left\{ \cos \varphi + \sqrt{\cos^2 \varphi + \left[ \frac{\dot{Q}_{\text{sample}}}{\dot{Q}_{\text{calib}}} \right]^2} - 2 \left[ \frac{\dot{Q}_{\text{sample}}}{\dot{Q}_{\text{calib}}} \right] \right\} \dots (2)$$

ここで、 $C$  : パンの熱容量、 $\tilde{C}$  : 試料とパンの熱容量、 $\tilde{A}_T$  : 試料の温度振幅、 $A_T$  : 与えた熱の温度振幅、 $\varphi$  : sample curve と calibration curve の位相差、 $\dot{Q}_{\text{sample}}$  : 試料の熱流束の振幅、 $\dot{Q}_{\text{calib}}$  : パンの熱流束の振幅

以上の式より算出した試料温度振幅と熱容量 (試料の重さ) の関係をプロットしたグラフを図 1 に示す。このグラフから熱容量が小さい領域では試料温度振幅による誤差は小さいといえる。ゴムの比熱からこの誤差のない範囲内の重さを算出すると 20mg 前後となる。この範囲内での試料の大きさによる  $\tan \delta$  の相違を図 2 に示す。この結果、この範囲内ではピークの高さには違いが生じないことがわかった。

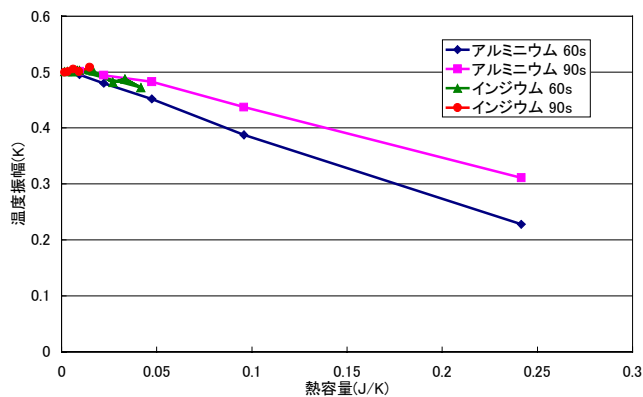


図 1 有効試料温度振幅と熱容量の関係

### 7. 結論

新たに考案した熱容量スケールリング法を用いて試料の大きさや試料温度振幅の関係を検証したことによって、試料温度振幅が変化することが立証された。さらには、熱容量スケールリング法で算出された試料の質量が 20mg 前後で測定したものではピークの高さが変わらないことから、質量の小さい試料を使用することによって試料温度振幅の違いによる  $\tan \delta$  のピークの精度の悪さを改善できることが明らかになった。

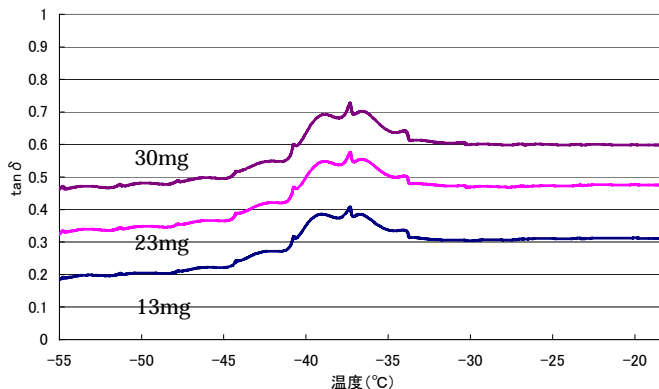


図 - 2 試料の重さによるピークの違い

<参考文献>

- 1) 日本熱測定学会: 熱量測定・熱分析ハンドブック, 丸善株式会社, 1999.10.
- 2) 村上謙吉: レオロジー基礎論, 産業図書, 1993.5.
- 3) 横浜ゴム HP, URL: <http://www.yrc.co.jp/>

謝辞

本研究を進めるに当たり、皆川勝教授・飯島正徳助教授・長田剛講師・佐藤技師ならびに修士 1 年村田氏には多大なご指導を頂きました。ここに感謝の意を表します。