

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

建設情報マネジメント研究室

学生氏名 新関基之

指導教員 飯島正徳

長田剛

皆川勝

1. はじめに

大地震時における隣接桁間、桁と橋台間の衝突には高いレベルの衝突荷重が作用する。兵庫県南部地震では、このエネルギーが強大なものだったために桁と橋台間に強い衝突が生じ、落橋や橋梁の損壊の原因となった。さらに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、道路橋示方書は改定され、落橋防止システムに関する研究や開発が多数行われるようになった。

そのシステムに設けられるものの一つに緩衝材がある。緩衝材は、衝突荷重の作用を緩和するためのものであり、高架橋を構成する主要部材のひとつと考えられている重要性の高いものである。緩衝材の材質として、実用化の可能性や価格という観点からゴムが有望であると考えられており、多くの研究、開発が行われている。川島ら¹⁾はゴムの圧縮特性を利用した緩衝材による桁間衝突の低減効果に関して実験的あるいは解析的に検討を行い、その効果を明らかにしている。しかし、緩衝材に要求されるもう一つの性能であるエネルギー吸収性については、設計者の判断にゆだねられる場合が多く、エネルギー吸収性の評価を行うことの必要性は大きい。本研究では、エネルギー吸収性が高く緩衝材として望ましいゴムを選定することを目的とした。

2. 粘弾性材の力学的応答と熱的応答

ゴムのエネルギー吸収性を比較検討できれば、より緩衝材に適したゴムを開発することが可能となる。ゴムには、与えられた刺激に対する応答に位相の遅れが出る成分と出ない成分が存在する。前者を粘性、後者を弾性と呼び、これらをあわせもったゴムの性質を粘弾性²⁾という。一般に、ゴムの弾性率は以下のような複素弾性率で示すことができる。

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

(1)式の実数部 E' は弾性、虚数部 E'' は粘性にあたり、 E' を貯蔵弾性率、 E'' を損失弾性率と呼ぶ。この二つの弾性率の比 $E''/E' = \tan \delta$ がエネルギー吸収性の指標となる。また、力学的応答と熱的応答には相関関係がある。このことから、図-1のように熱量測定を行うことでエネルギー吸収性を評価することができる。熱量測定により E' 、 E'' に対応する動的比熱 c' と c'' を求めて $\tan \delta$ を以下のように算出を行い、評価をする。

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

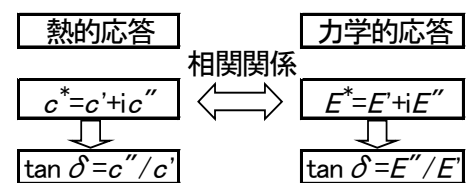


図-1 熱的応答と力学的応答の関係

3. ゴムの特性であるガラス転移点と粘弾性

ゴムにはガラス転移温度 T_g という、ゴム状から硬いガラス状に転移する温度がある。また、 E' と E'' の典型的な挙動を図-2に示す。粘性 E'' はピークを持つ曲線となる。硬い鋼材にはない粘性 E'' が大きいと $\tan \delta$ の値は大きくなり、 E'' がピークになったときに $\tan \delta$ の値が一番大きくなる。このピークになる点がちょうどガラス転移温度 T_g となる。

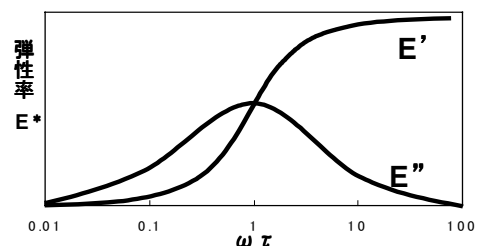


図-2 弾性率の典型的な挙動

キーワード 粘弾性、 $\tan \delta$ 、ガラス転移温度、TMDSC、動的比熱

4. 実験装置および測定方法

熱量測定には示差走査熱量計 DSC(differential scanning calorimetry)を用いた。これは熱電対により、試料と基準物質の温度差を測定し、それを熱流束に換算するものである。この DSC で温度変調をかけて熱応答をみる TMDSC(temperature modulated differential scanning calorimetry)という測定を行う。これより、 E' 、 E'' に対応する c' 、 c'' を求めることができ、熱量測定による $\tan \delta$ を算出することができる。ガラス転移温度 $T_g - 70 \sim 0$ の区間を昇温速度 10 /min で上げるという温度プログラムを、 $\tan \delta$ の測定には、 $-60 \sim -20$ の区間を、振幅 0.5 、周期 60 秒のサイン波と昇温速度 3.5 /min で上がる一定昇温をかけ合わせた温度プログラムを用いた。

5. ガラス転移温度 T_g の測定

前述したように、 $\tan \delta$ はガラス転移温度 T_g でピークとなるので、 T_g を知る必要がある。本研究では、DSC による熱量測定から T_g を算出した。試料としては、広く使用されているクロロプレンゴム(CR)を用いた。表 - 1 に用いた三種類の試料の特徴を示した。さらに、測定結果を図 - 3 に示す。この図より、ガラス転移温度は No.1 から順に -39 、 -51 、 -40 と読み取ることができる。

6. エネルギー吸収指標 $\tan \delta$ の測定

前述したガラス転移温度付近において、三種類のクロロプレンゴムの動的比熱を TMDSC により測定し、 $\tan \delta$ を求めた。この結果を図 - 4 に示す。この結果をみると、No.1 のピークが一番大きく出ていることがわかる。そして、次に No.2 のピークが大きく、No.3 についてはピークがごく微少となった。 $\tan \delta$ のピークの高さをそれぞれ算出した結果を表 - 2 に示す。No.1 の $\tan \delta$ は No. 2 の 2 倍以上の値となっており、No.3 と比べると、8 倍以上の値となっている。

7. 考察

ゴムの粘弾性からエネルギー吸収性を評価することができる。そして、その粘弾性を熱量測定からアプローチすることができ、 $\tan \delta$ を求めることによってエネルギー吸収性を評価することが可能である。同じ種類のゴムでも加工によってエネルギー吸収性が異なることが分かった。また、図 - 5 より、No.1 と No.3 について T_g と $\tan \delta$ には相関関係はないといえる。さらにこの測定法によれば、使用する試料が少量で済むことから、低コストでの実験が可能といえる。

<参考文献>

- 1) 庄司学, 川島一彦, Anat Ruagrassamee, 運上茂樹, 足立幸郎, 長屋和宏: 桁間衝突の影響に対するゴム製緩衝装置の有効性に関する実験的検討, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.891-902, 1999.3.
- 2) 村上謙吉: レオロジー基礎論, 産業図書, 1993.5.

表 - 1 三種類のクロロプレンゴムの特徴

No.1	No.2	No.3
結合度(加硫度)が高い	耐候性考慮	市販

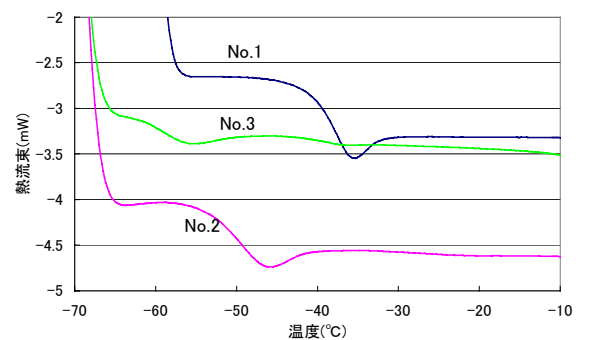


図 - 3 クロロプレンゴムの T_g 測定

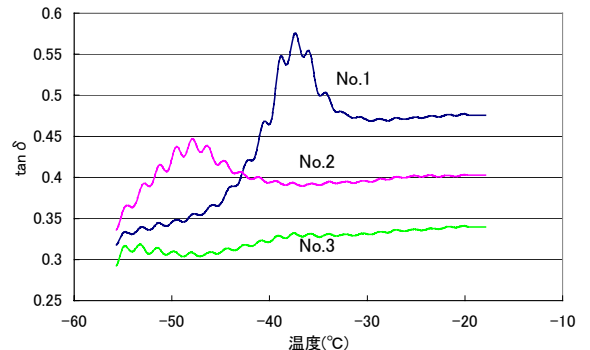


図 - 4 クロロプレンゴムの $\tan \delta$ 測定

表 - 2 $\tan \delta$ のピーク高さ

	No.1	No.2	No.3
$\tan \delta$ のピーク高さ	0.2732	0.144	0.0312

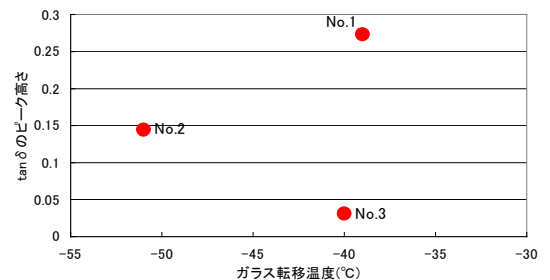


図 - 5 $\tan \delta$ と T_g の関係