

動的粘弾性測定による緩衝ゴムのエネルギー吸収性能の評価

学籍番号：0217061 学生氏名：玉井 裕基

指導教員：皆川 勝 吉田 郁政 飯島 正徳 長田 剛

1. 研究背景

1995年の兵庫県南部地震では、大きな地震力を受けて橋の上部構造が大きく変位し、隣接桁間及び桁と橋台間で高いレベルの衝突力が作用した。その事により桁や橋台、さらには落橋を防ぐ為に設置されていた落橋防止構造までもが損壊し、落橋に至った被害が多数見られ、落橋の防止は重要な課題であるとなっている。

同地震の被害を受けて道路橋示方書は改訂され、落橋防止対策を設けるように規定が強化された。また示方書には「衝撃的な地震力を緩和するためゴムパッド等の緩衝材を用いて耐衝撃性を高める構造とするものとした。」¹⁾とある。この事から緩衝材としてゴムが推奨され、衝突力の低減効果が求められている。

2. 研究目的

ゴムは粘弾性を有する事から、ゴムの性能は与えられる変位の最大値と周波数、温度に強く依存する。そして、これらの要因は複雑かつ相互に関係し、ゴムのエネルギー吸収性能の把握を困難なものとしている。本研究では、ゴムの動的粘弾性を評価し、力学特性と粘弾性の相関について考察した。

3. 動的粘弾性測定

動的粘弾性測定(Dynamic Mechanical Analysis : DMA)とは、試料に図-1のような周期的に変動する応力を与え、発生するひずみを温度または周波数の関数として測定する方法である。測定されるひずみの応答を得ることで試料の複素弾性率 E^* を求めることができる²⁾³⁾。入力する応力 σ は以下の式(1)で、発生するひずみ γ は式(2)で表される。

$$\sigma = \sigma_0 e^{i\omega t} \quad (1) \quad \gamma = \gamma_0 e^{i(\omega t - \delta)} \quad (2)$$

ここで、 ω は角振動数、 t は時刻、 δ は位相差である。複素弾性率 E^* は式(3)で表される。

$$E^* = E' + iE'' \quad (3)$$

ここで、 E' を貯蔵弾性率といい、与えられたエネルギーが貯蔵される弾性成分を意味する。 E'' は損失弾性率といい、与えられたエネルギーを熱として損失する粘性成分を意味する。式(4)のような力学的損失正接 $\tan\delta$ を求めることができる。

$$\tan\delta = E''/E' \quad (4)$$

4. 実験概要

試料として、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)を用意した。すべてのゴムは JIS K6253 に基づく硬度 65 ± 5 である。

表-1 に示す実験概要のように DMA を行い、室温における $\tan\delta$ の周波数依存性を調べた。なお DMA で試料に与える変位は数 μm であり非常に微小である。この実験結果の検証のために、表-2 に示す実験概要のように静的載荷試験を行った。

また DMA で試料に与えた周期的に変動する応力の周波数は、試料に入力される応力の速さに対応するものと考えた。つまり DMA で周波数を変化させながら試料の $\tan\delta$ を測定することで、地震による橋の上部構造の振動以外にも、交通振動や機械振動、騒音等の異なる周波数に対する試料のエネルギー吸収性能を調べることができる。

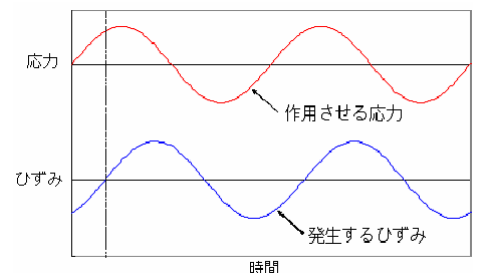


図-1 周期的に変動する応力

表-1 実験概要(DMA)

実験装置	METTLER TOLEDO社製DMA861c
測定周波数	0.1Hz~100Hz
測定温度	室温
入力	せん断応力
試料形状	直径 5.2mm 厚さ 1.0mm

表-2 実験概要(静的載荷試験)

実験装置	油圧サーボ疲労試験機
載荷速度	0.2mm/s, 0.8mm/s
変位	35mm
入力	圧縮応力
試料形状	50mm×50mm×50mm立方体

Key Words : 緩衝ゴム, 動的粘弾性測定, エネルギー吸収性能, $\tan\delta$, 周波数依存性

5. 実験結果

DMA の結果を図-2 に示す。この結果から、CR と IIR に $\tan\delta$ の周波数依存性が確認でき、高周波数域において $\tan\delta$ が大きくなることから、高いエネルギー吸収性能を持っていると考えられる。一方、SBR と NR には $\tan\delta$ の周波数依存性がほとんど確認できなかった。低周波数域では 4 種ゴムで $\tan\delta$ の値は同じであり、エネルギー吸収性能も同様であると考えられる。

静的载荷試験で载荷速度 0.2mm/s の結果を図-3 に、0.8mm/s の結果を図-4 に示し、それぞれの図に低変位時におけるグラフの拡大図を追加した。また、4 種ゴムの変位 2mm における弾性率を载荷速度 0.2mm/s と 0.8mm/s の場合を比較するために表-3 にまとめた。

以上から、低変位時におけるゴムの弾性率(曲線の傾き)をみると、载荷速度 0.8mm/s の場合は、DMA で $\tan\delta$ に周波数依存性が確認できた CR と IIR において、载荷速度 0.2mm/s の場合と比べて弾性率の低下が確認できた。

6. 考察

図-5 のように、ある一定の荷重がゴムに作用したとき、低変位の場合、弾性率の低いゴムは大きく変形することによって、弾性率の大きいゴムに比べて、より多くのエネルギーを吸収することが予想できる。このことから、DMA で高周波数域において低周波数域よりも高い $\tan\delta$ を有する CR や IIR といったゴムが、静的载荷試験でも载荷速度の速い場合において、より高いエネルギー吸収性能を発揮することが考えられる。また、载荷速度 0.2mm/s の場合は 4 種ゴムで弾性率に大きな違いがないため、エネルギー吸収性能はほとんど変わらないと考えられ、DMA の結果においても $\tan\delta$ は 4 種ゴムでほとんど同じ値を示した。以上から、DMA で高周波数域において高い $\tan\delta$ を有するゴムが、実際に静的载荷試験においても高いエネルギー吸収性能を示すことがわかった。ただし、今回行った DMA の場合は、ゴムの微小変形下における線形粘弾性領域しか測定しておらず、ゴムの大变形時における非線形粘弾性領域を測定していない。よって今回の DMA の結果は静的载荷試験の低変位時におけるエネルギー吸収性能を示している。

7. 結論

本研究では、DMA を使用した緩衝ゴムのエネルギー吸収性能の評価のために、DMA と静的载荷試験から得られた結果を比較し、 $\tan\delta$ と力学特性の相関について考察した。結論として以下にまとめる。

- DMA で高周波数域において高い $\tan\delta$ を有するゴムが、実際に静的载荷試験の低変位域で、载荷速度の速い場合において、より高いエネルギー吸収性能を示すことがわかった。
- CR と IIR は $\tan\delta$ の周波数依存性があり、高周波数域で低周波数域より高いエネルギー吸収性能を示すが、NR と SBR には周波数依存性は確認できなかった。

- [参考文献] 1)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，2002.3.
 2)日本熱測定学会：熱測定・熱分析ハンドブック，丸善，1999.10.
 3)村上謙吉：レオロジー基礎論，産業図書，1999.12.

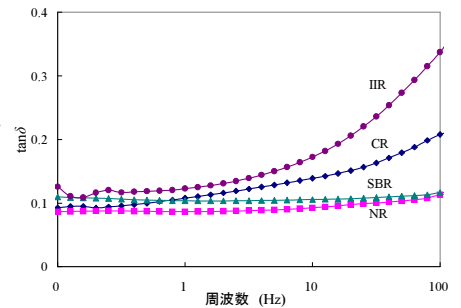


図-2 $\tan\delta$ の周波数依存性

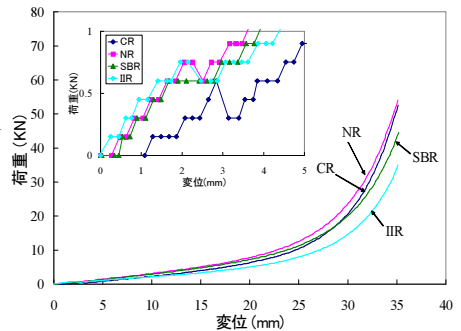


図-3 静的载荷試験(0.2mm/s)

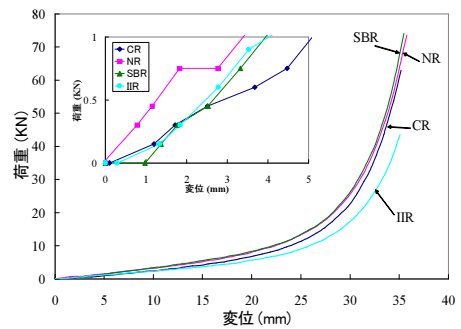


図-4 静的载荷試験(0.8mm/s)

表-3 弾性率(KN/mm)の変化

载荷速度	0.2mm/s	0.8mm/s
CR	0.34	0.29
NR	0.39	0.41
SBR	0.33	0.38
IIR	0.35	0.22

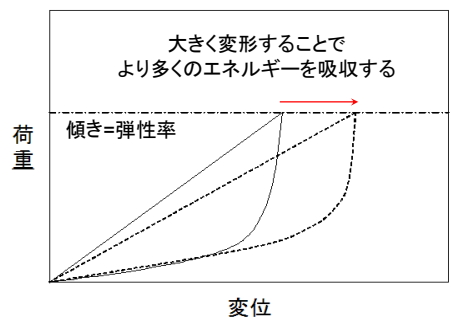


図-5 エネルギー吸収性能の変化