

高硬度ゴムダンパーの実験と解析モデル化手法

その1 高硬度ゴムダンパーの実験概要及び実験結果

正会員 ○関川久範^{*1} 同 笠井和彦^{*2}
同 西澤恵二^{*3} 同 大木洋司^{*4}
同 田中克往^{*4} 同 田中和宏^{*5}
同 西本晃治^{*6} 同 山崎久雄^{*7}

高硬度ゴム 温度依存性 振幅依存性 振動数依存性

1. 序

地震による建物の応答を軽減するための制振部材として、現在、様々な材料のダンパーが用いられている。その中でも、高硬度ゴムダンパーはせん断変形を瞬時に熱エネルギーに変換する性能を利用することによって、構造物が受ける風揺れや交通振動のような微小な揺れから大地震まで、さまざまな揺れを吸収、コントロールすることが可能であり、振動減衰材として広く用いられはじめています。

しかし、その力学的特性は、変形量や変形速度、さらに温度に依存し、応力-歪関係が非線形挙動となり、その挙動を正確に再現したモデルは存在しない。

そこで、本報では、それらすべての依存性を考慮した高硬度ゴムダンパーの解析モデル化手法を提案する。その1では、高硬度ゴムの実験概要と、実験結果を示し、モデル化に伴い、高硬度ゴムの履歴形状の特徴について説明する。解析モデル化手法の提案についてはその2で示す。

2. 試験体概要

試験体は、40×40×8mmの高硬度ゴムであり(図1)、2

つの試験体それぞれを中央鋼板の両面に対称的に固定し、2面せん断としている(図2)。初期温度の管理は高硬度ゴム内に挿入した熱電対で行った。

試験体は、図1のボルト穴を通して、外側治具に固定されており、過度な圧縮力がかからないよう、外側治具通しをボルトで固定し、幅を一定間隔に保つようになっている。

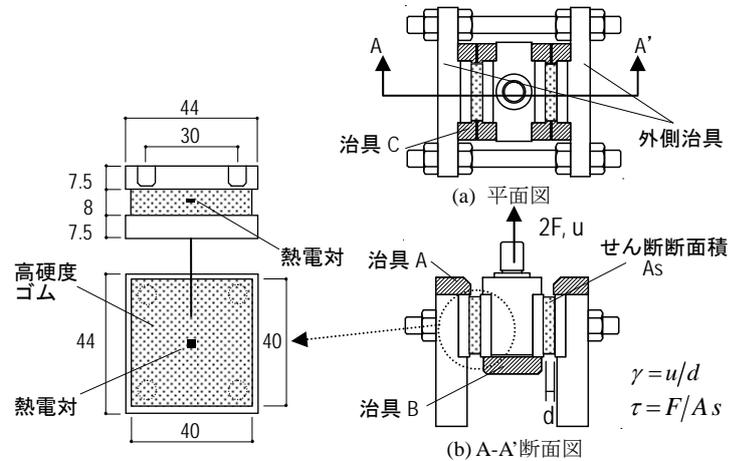


図1 試験体概要

図2 計測概要

表1 载荷波形パターン

载荷方法	载荷時刻歴 $\gamma(t)$	歪振幅または速度	温度と振動数	試験体数
単調		歪速度0.00125, 0.0125, 0.125, 1.25 1/sの4種	20℃	4
定振幅正弦波		$\gamma_{peak} = \begin{pmatrix} +10 \\ -10 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} +50 \\ -50 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} +100 \\ -100 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} +200 \\ -200 \end{pmatrix}$ % の4種	20℃ : 0.001, 0.1, 0.3, 1, 3 Hz 0°, 40℃ : 0.001, 0.3, 1, 3 Hz	3x1x5+4+ 4x2x4=51
漸増 漸減		$\gamma_{peak} = \begin{pmatrix} +5 \\ -5 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +200 \\ -200 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +5 \\ -5 \end{pmatrix}$ %	20℃ : 0.001, 0.1, 0.3, 1, 3 Hz 0°, 40℃ : 0.001 Hz	5+2x1=7
漸減 漸増		$\gamma_{peak} = \begin{pmatrix} +200 \\ -200 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +5 \\ -5 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +200 \\ -200 \end{pmatrix}$ %	20℃ : 0.001, 0.1, 0.3, 1, 3 Hz 0°, 40℃ : 0.001 Hz	5+2x1=7
シフト		$\gamma_{peak} = \begin{pmatrix} +200 \\ -100 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +100 \\ -200 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +150 \\ -150 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +200 \\ 0 \end{pmatrix}$ %	20℃ : 0.001 Hz	1
シフト 漸増		$\gamma_{peak} = \begin{pmatrix} +200 \\ +198 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +200 \\ -200 \end{pmatrix}$ %	20℃ : 0.001, 1 Hz	2
シフト 漸減		$\gamma_{peak} = \begin{pmatrix} +200 \\ -200 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} +200 \\ +198 \end{pmatrix}$ %	20℃ : 0.001, 1 Hz	2
地震 応答波		歪振幅ランダム JMA Kobe, El Centro, Taftの3地震応答波	20℃ : 24層建物1階応答(動的・静的) 0°, 40℃ : 24層建物1階応答(動的)	3x1x2+ 3x2x1=12

注) 全試験体は、事前に初期剛性除去载荷を行った。
定振幅正弦波载荷では、20℃での $\gamma_{peak} = \pm 10\%$ は、1Hzのみ試験した。また、20℃の $\gamma_{peak} = \pm 200\%$ は0.01, 10, 15Hzも試験した。

また、せん断方向に対する試験体のガタは、治具 A,B で固定し、試験体の回転は、外側治具及び治具 A,B,C で固定し、純粋なせん断試験となるようにしている。

3. 実験

3.1 载荷計画

本実験では、表 1 に示すように、様々な変位波形、歪振幅、歪速度、振動数、初期温度での変位制御载荷を実施した。各载荷を説明する。

- (1) 単調载荷：歪速度を一定とした単調せん断载荷。
- (2) 定振幅正弦波载荷：最大歪振幅を一定とした 4 サイクルの正弦波载荷。
- (3), (4) 漸増漸減 (漸減漸増) 载荷：歪振幅を漸増 (漸減) させた後、同様に漸減 (漸増) させる正弦波载荷。
- (5), (6) シフト漸増 (漸減) 载荷：初期歪を与えた後、歪を漸増 (漸減) させる正弦波载荷。
- (7) シフト载荷：歪のピークを変化させる正弦波载荷。
- (8) 地震応答波载荷：24 階建の建物 (固有振動数 0.35 Hz) に、JMA Kobe, El Centro, Taft の各波が入力されたときの 1 階応答波形の最大歪振幅を 200% に調整した载荷及び、時間を 300 倍に伸ばした低速な载荷。

初期温度は、表 1 に示すように 0, 20, 40°C の 3 種である。

本高硬度ゴムの静的挙動の把握のためには、振動数と歪速度の両者を抑えた载荷が必要であるため、履歴曲線が振動数と歪速度の変化に殆ど影響されないような、ほぼ静的な挙動が得られ、かつ時間的にも可能な载荷を、試行的な事前実験により検討した。その結果、载荷 (1) では一定歪速度 0.125%/秒~125%/秒の範囲の内、0.125%/秒を、また、载荷 (8) では、最大歪速度 1.87%/秒と 677%/秒の内、1.87%/秒を、それ以外の载荷 (2) ~ (7) では、振動数 0.001 Hz の载荷を「静的载荷」として行うことにした。それ以外は「動的载荷」と呼ぶことにする。

ところで、本高硬度ゴムは、免震用高減衰ゴムと同様、製造後に初めて経験するせん断変形では非常に大きな初期剛性を示す。これは、製造時に内部残留する応力や分子間の絡みなどから発現するものと考えられ、一度変形を経験した後に解消され、以降の剛性が安定することがわかっている。本試験体に対しても、初期剛性を除去してから载荷実験を行った。なお、初期剛性の除去後であっても、载荷開始時には、その歪速度によって比較的大きな応力が生じることを述べておく。

3.2 実験結果

実験より、本高硬度ゴムは、振幅・振動数・温度に依存

することが分かった。振幅が増えると軟化し (図 3a)、振動数が増えると硬化し (図 3b)、さらに、温度が高いと軟化する傾向がある (図 3c)。

また、静的载荷と動的载荷では、履歴形状が著しく異なることも分かる (図 4)。これは、本高硬度ゴムが振動数に依存するためだが、一方、静的载荷でも履歴が膨らみを持ち、エネルギー吸収量が多いという点で、振動数依存する他の高分子系材料¹⁾⁻⁶⁾と対照的であると言える。

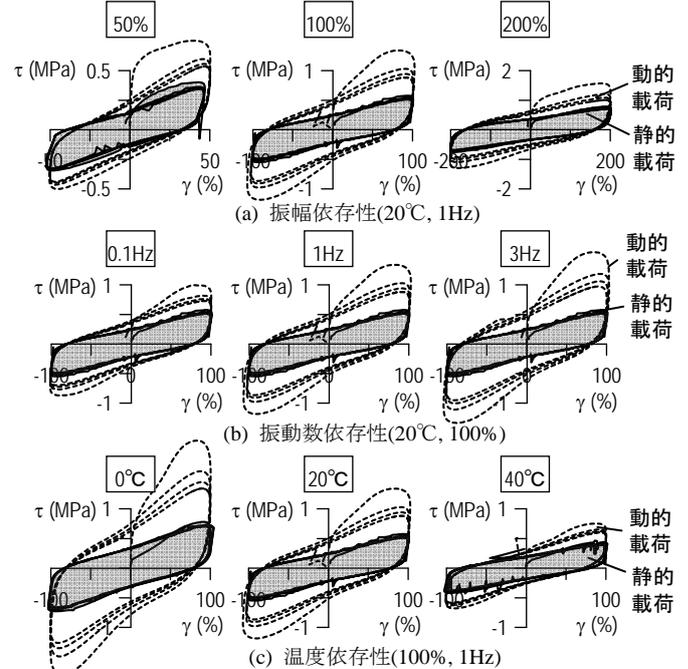


図 3 硬度ゴムの振幅、振動数、温度に対する依存性

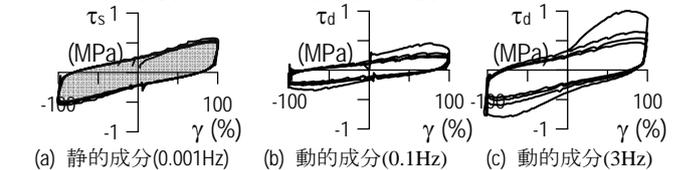


図 4 静的成分および動的成分 (20°C, 100%)

4. 結

高硬度ゴムの実験結果を示し、その履歴形状の特徴について示した。解析モデル化手法については、その 2 で示す。

参考文献

- 1) Ferry, J.D.: Viscoelastic Properties of Polymers: John Wiley & Sons Inc., Third Ed., New York, 1980
- 2) 材料システム：粘弾性特集、金沢工業大学材料システム研究所、第 6 巻、1987
- 3) 笠井和彦、寺本道彦、大熊潔 所健：粘弾性体の温度・振動数・振幅依存を考慮した構成則 (その 1 線形弾性域における温度・振動数依存のモデル化)、日本建築学会構造系論文集、第 543 号、pp.77-86、2001.5
- 4) 笠井和彦、寺本道彦、大熊潔 所健：粘弾性体の温度・振動数・振幅依存を考慮した構成則 (その 2 温度上昇および歪・歪速度がもたらす非線形性のモデル化)、日本建築学会構造系論文集、第 561 号、pp.55-63、2002.11
- 5) 笠井和彦、大木洋司、雨宮健吾、木村勝彦：イソプレン・スチレン系のブロック共重合体からなる粘弾性材料の構成則 (その 1 小歪弾性域における温度・振動数依存のモデル化)、日本建築学会構造系論文集、第 569 号、pp.47-54、2003.7
- 6) 大木洋司、笠井和彦、雨宮健吾、木村勝彦：イソプレン・スチレン系のブロック共重合体からなる粘弾性材料の構成則 (その 2 大歪弾性域における温度・振動数・振幅依存のモデル化)、日本建築学会構造系論文集、第 617 号、pp.77-85、2007.7

*¹ 東京工業大学・人間環境システム専攻・大学院生
 *² 東京工業大学 建築物理研究センター 教授・Ph. D.
 *³ 元 東京工業大学 大学院生 (現 北野建設株式会社)
 *⁴ 東京工業大学都市地震工学センター 特任助教
 *⁵ 住友ゴム工業(株) ハイブリット事業本部
 *⁶ 新日鉄エンジニアリング(株) 建築・鋼構造事業部
 *⁷ ユニオンシステム(株) 振動解析プロダクト

*¹ Grad. Student, Dept. of Built Environment, Tokyo Institute of Technology.
 *² Professor, Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Ph. D.
 *³ Grad. Student, Tokyo Institute of Technology.(Kitano Construction Corp.)
 *⁴ Assistant Prof., Center for Urban Earthquake Eng., Tokyo Institute of Technology
 *⁵ Hybrid Rubber Products Headquarters, Sumitomo Rubber Industries, Ltd.
 *⁶ Building Construction & Steel Structures Div., Nippon Steel Engineering
 *⁷ Dynamic Analysis Research Complex, Union System Inc.