

ゴム材料の破断特性の把握と破壊基準の構築

山梨大学大学院 学生会員 吉本大介
 山梨大学大学院 正会員 吉田純司
 山梨大学大学院 正会員 杉山俊幸

1. はじめに

わが国では、1995年の兵庫県南部地震を契機に免震構造物への関心が高まり、土木分野では橋梁を中心に積層ゴム支承を利用した免震構造物の導入が行われている。積層ゴム支承は、構造物の損傷を支承部分に集中させる特徴を有するため支承が破断に至り、ジョイント部の損傷や落橋の恐れがある。そのため、支承の破断を予測することは、免震構造物の限界を予測し、信頼性、安全性の高い設計を行う上で非常に重要な要素の一つとなる。そこで、これまでは実際の支承での破断実験が行われ破断特性が検討されてきたが、手間やコストがかかり実験結果が支承の形状やゴムの種類に依存するという問題が生じる。そこで本研究では、材料レベルからの支承の破壊を予測可能にするために、ゴム材料の体系的な破断実験を行い汎用的な破壊基準を構築することを目的とする。

2. ゴム材料の引張り破壊試験

本研究では、二軸引張り試験機を用いて、図-1、図-2に示すせん断弾性係数 $0.98[N/mm^2]$ の天然ゴム、高減衰ゴム、合成ゴムの単軸、二軸用試験片を用いて引張り破壊試験を行い、ゴム材料の破断特性の把握、破壊基準を構築することを目的とする。試験の種類は、一軸方向のみ引張る単軸引張り試験、一方の軸は一定の伸張比で固定し、他方の軸方向に引張る一軸固定二軸引張り試験、両軸ともに均等に引張る均等二軸引張り試験の3種類で行う。また、各実験での引張り速度は表-1に示す。それぞれの実験について、破断までのひずみ場を計測する。特にゴム材料の破壊に至る過程では、大歪が生じ、従来の計測方法で歪場を計測することは困難であるため、本研究では、画像計測を行う。具体的には、まず試験片に白点を描き引張り破壊試験の時系列画像を取得し、次いで得られた画像を二値化しラベリング処理により各点を分離する。最後に検出した各点の変位を時間的に追跡して、変位場を得、それを内挿して微分することで歪場を算出する。

3. 実験結果

ゴムのように変形が大きな物体においては、微小変形理論を適用できないため、テンソルを用いた一般の変形理論を用いる。ここに主軸伸張比とは、右 Cauchy-Green 変形テンソルの主軸を基底とする座標系において座標変換したものに根号した値である。図-3は本実験で得られた破断時の2方向の主軸伸張比をプロットしたものである。図より、天然ゴム、高減衰ゴム、合成ゴムで大きな違いが見られることはなかった。また、一部の試験で破断時の主軸伸長比が速度に影響する傾向が見られた。

4. ゴム材料の破壊基準の構築

破断時の主軸伸張比からゴム材料の破壊基準を構築する。ここでは、拘束している影響を取り入れるために、引張り方向と引張り直角方向の破断時の主軸伸張比 λ_1, λ_2 に、厚さ方向の主軸伸張比 λ_3 を除し基準化する。その基準化した主軸伸張比 $\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_2$ を用いて、破壊基準を構築する。破壊基準式は単軸、一軸固定、均等二軸の基準化した破断時の主軸伸張比関係を全て満たす関数見つけ破壊基準式とする。本研究で提案する破壊基準を(1)で示す。

$$\frac{(\hat{\lambda}_1 - \alpha)^2}{A^2} + \frac{(\hat{\lambda}_2 - \alpha)^2}{B^2} = 1, \quad \hat{\lambda}_1 = \bar{\lambda}_1 \cdot \cos(\pi/4) + \bar{\lambda}_2 \cdot \sin(\pi/4) \quad \hat{\lambda}_2 = -\bar{\lambda}_1 \cdot \sin(\pi/4) + \bar{\lambda}_2 \cdot \cos(\pi/4) \quad (1)$$

ただし、 A, B, α は材料定数である。この破壊基準を実験結果と併せて図-4に示す。この図は、座標軸と破壊基準で囲まれた領域を破壊領域、外側を非破壊領域として表せる。

5. 結論

本研究では、天然ゴム、高減衰ゴム、合成ゴム材料の破断実験から破壊基準を構築し、ゴム材料一般に適用可能な汎用的な破壊基準の把握を構築した。本破壊基準は、対象とした高減衰ゴム、合成ゴム、および天然ゴム材料において、いずれの変形からの破壊も本基準により判定できる、汎用的なものである。

キーワード：積層ゴム支承、天然ゴム、高減衰ゴム、合成ゴム、主軸伸張比

連絡先：〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 TEL:055-220-8521 FAX:055-220-8773

謝辞：本研究での材料試験におけるゴムの試験片の設計・製作においては，日本支承協会に多大なご協力を賜りました．ここに記して謝意を表します．

参考文献： 1) 井上誠喜・八木伸行・林 正樹・中須英輔・三谷公二・奥井誠人：C 言語で学ぶ実践画像処理，オーム社，1999.
2) 久田俊明：非有限要素法のためのテンソル解析の基礎，丸善株式会社，1992. 3) 金丸仁美：ゴム材料の破断特性に関する実験的検討，山梨大学修士論文，2004.

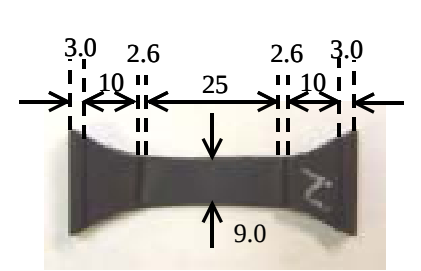


図-1 単軸用試験片

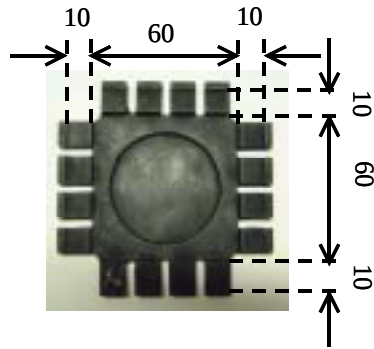


図-2 二軸用試験片

表-1 実験ごとの引張速度	
試験種類	引張り速度 [mm/sec]
単軸	0.04
	0.2
	2.0
	20
一軸固定(伸び比：1)	2.0
一軸固定(伸び比：2)	2.0
均等二軸	0.04
	0.2
	2.0
	20

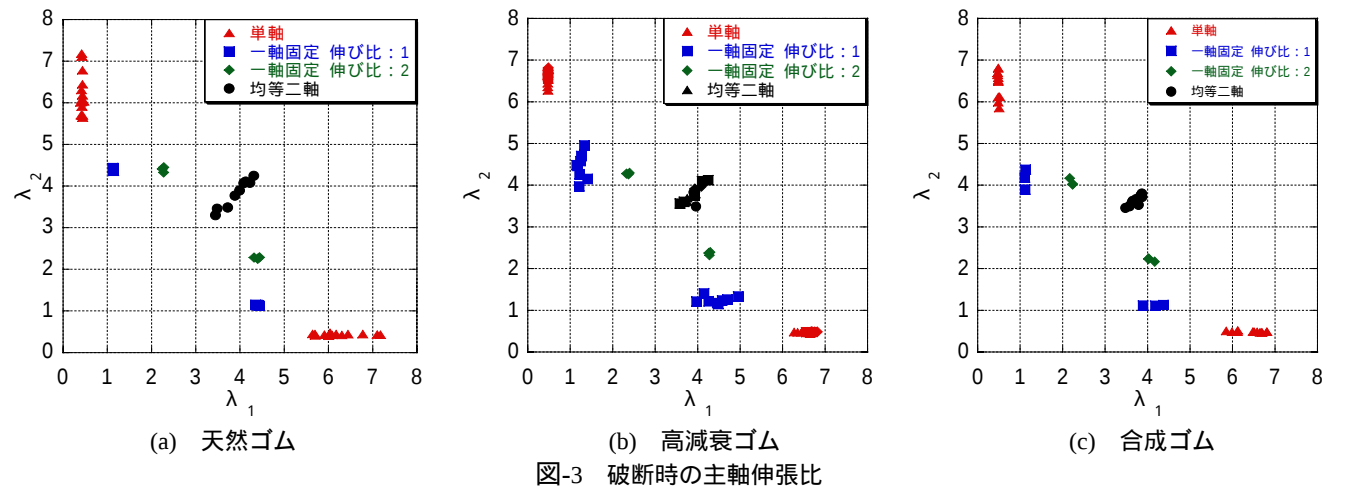


図-3 破断時の主軸伸張比

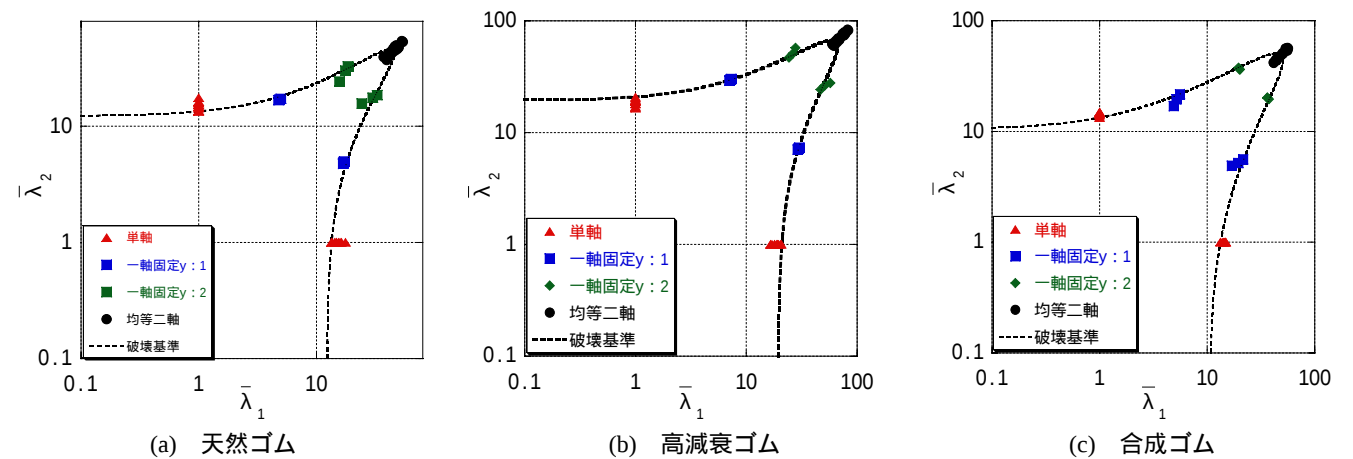


図-4 材料試験結果と破壊基準の比較