

京都大学	博士 (工 学)	氏名	Huma Kanta MISHRA
論文題目	Experimental and Analytical Studies on Scrap Tire Rubber Pads for Application to Seismic Isolation of Structures (廃タイヤゴムパッドの構造物免震への適用に関する実験的および解析的研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、大型車用廃タイヤを矩形状に切り出すことで作製される廃タイヤゴムパッド (Scrap Tire Rubber Pad、以下 STRP) の、低コスト免震材料としての利用に関する研究を行った結果を述べたものである。方向の異なる鋼線群が層を成すようにゴム材料の中に埋め込まれた STRP は、積層ゴム支承と同様に構造物重量に対しては鋼線層によるゴムの拘束効果により比較的高い鉛直剛性を発揮する一方、水平力によるせん断変形に対しては剛性が小さい特性を持つ。この性質に着目し、STRP を複数枚重ねて免震材料とする場合について、特に発展途上国において採用可能な小規模構造物向けの安価な地震対策としての適用性を評価することを目標としており、全 9 章から成っている。</p> <p>第 1 章は、序論である。建物の地震時性能の確保の方策としての免震の現状を概説した上で、発展途上国においては主にコストの面で一般的な建物への普及が進まない現状を基に、こうした国々においても採用可能な安価な地震対策を開発することを目的として STRP の利用に着目したこと、およびその実用性を検証するためには免震材料の実験的および解析的な方法論に基づき検討する必要性を説明した上で、論文の構成について述べている。</p> <p>第 2 章においては、低コストの免震支承に関し、過去に開発あるいは提案されてきたゴム系の材料を用いた免震支承の方式と関連する既往の研究を概観し、それらの得失および成果として得られている知見について述べた上で、本研究で対象とする STRP とその免震材料への適用の利点と実現に向けての課題をまとめている。特に STRP 同士の層接着の効果、せん断変形性能、鉛直荷重支持性能および設計基準との適合性などに着目して実験および解析的な検討を行うことを目標とすることを述べている。</p> <p>第 3 章では、実際の廃タイヤを用いた STRP 供試体の製作について詳述し、基本的な材料構成、ゴム材料の力学モデル化、ダンベル試験片の試験と数値解析の併用によるゴムの材料特性と材料定数の決定、熱分解ガスクロマトグラフィーによるゴム材料同定など、基本的な材料特性を明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、複数枚重ねた STRP の面圧作用下でのせん断変形特性を、載荷実験および STRP 内の鋼線層を考慮した有限要素解析を用いて明らかにしている。製作した STRP 供試体を重ねて構成した免震材料の載荷試験により、軸力-鉛直変形関係が十分な性能を持つことを確認し、軸力作用下での水平せん断載荷試験により、5MPa の軸圧縮応力の条件においてせん断 100%程度までの変形性能を持ち、かつ 12%程度の等価減衰を有するとの結果を得ている。さらに、同定された材料特性に基づき、ゴム材料中に埋め込まれた鋼線層を要素に組み込んで構成した有限要素モデルによる数値解析を実施し、実験で示されたせん断特性や荷重-変形関係を十分な精度で説明できることを明らかにしている。</p> <p>第 5 章では、接着剤による層接着を併用して複数枚重ねた STRP のせん断変形性能を</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	Huma Kanta MISHRA
<p> 載荷実験および有限要素解析により検討している。層接着された STRP 免震材料に対して軸圧縮載荷試験および繰り返しせん断載荷試験を実施し、前章の接着せずに重ねた STRP の変形性能の場合よりも高い 150%程度の変形性能が得られる事、および軸圧縮力が異なる場合の影響を示すとともに、有限要素解析によっても接着の効果を確認できることを明らかにしている。 </p> <p> 第6章では、建物の免震を想定した場合のハイブリッド実験により、地震動入力に対する免震建物の応答の検証を行っている。STRP 免震材を用いることで、最大層間変位が 66%、最大加速度応答が 67%に低減するとともに、こうした応答特性は STRP 免震材を等価線形バネおよび粘性減衰でモデル化した数値計算と概ね一致することを明らかにしている。 </p> <p> 第7章では、設計基準に対応する水平2方向入力を考慮した、STRP 免震材料を適用した構造物の性能について検討を行っている。設計基準に基づいた STRP 免震材料および建物の設計に関する検討を行い、免震建物の現実的な設計が可能であることを確認し、入力地震動による最大変位などの建物の性能の相違を明らかにするとともに、水平2方向入力時の STRP 免震材料の軸力変動を計算することで、地震時に免震材料に引張が生じないことを確認している。これらの結果より、STRP は特に低層建物の免震の用途への適用性が高いとの結論を得ている。 </p> <p> 第8章では、STRP 免震材料の軸力およびせん断力作用下における安定限界に関する理論および数値解析による検討を行っている。Haringx の理論に基づく STRP 免震材料の安定性に関して考察し、前章までで得られている接着なしおよび接着された STRP 免震材料の実験および有限要素解析結果で得られている安定限界の予測が可能であることを示し、実験に用いた層接着 STRP 免震材料の寸法条件が、低層建物に対する適用の場合に妥当な性質を持つと考えられるとの知見を得ている。 </p> <p> 第9章では、本研究で得られた結論を要約するとともに、今後の課題について述べている。 </p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、大型車用廃タイヤを矩形状に切り出すことで作製される廃タイヤゴムパッド (Scrap Tire Rubber Pad、以下 STRP) の、低コスト免震材料としての利用に関する研究を行った成果をまとめたものである。廃タイヤを基にした STRP の製作、材料特性の調査・同定、軸圧縮載荷試験、単調および繰り返しせん断載荷試験による性能の検証、有限要素解析による検討を行うとともに、層接着を適用した場合の性能、具体的な建物の免震材料として用いた場合の効果、設計基準に対応する水平2方向入力に対する構造物の性能と実際の設計への適用性、軸圧縮力作用下での免震材料の安定性に関する理論的および実験的な検討を内容としており、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 複数枚重ねた STRP の面圧作用下でのせん断変形特性を、載荷実験および STRP 内の鋼線層を考慮した有限要素解析を用いて検討した結果、軸力-鉛直変形関係は建物の免震材料として利用するために十分な剛性および軸圧縮力に対する性能を持つことを確認するとともに、5MPa の軸圧縮応力の条件においてせん断100%程度までの水平変形性能と、12%程度の等価減衰を有することを明らかにした。これは、現在工業製品として生産と適用が行われている免震ゴム支承の性能と相対的に比較した場合の、免震材料としての性能の位置付けと改善の方向性を明確化する知見を得たものである。
2. 接着剤による層接着を併用して複数枚重ねた STRP とした場合、さらに良好な軸圧縮性能を有するとともにせん断変形150%程度まで水平変形性能が改善されることを、実験的および解析的に明らかにした。この結果により、建物の低コスト免震材料として現実的な適用性が期待できることが示された。
3. 実際の建物の耐震設計基準に基づき、STRP を用いた免震建物の設計の実現性を、具体的な試設計計算やハイブリッド実験などを通じて検証し、実現性が高いことを示すとともに、免震層を等価線形バネ・粘性減衰でモデル化した計算により十分な精度の地震応答評価が得られることを明らかにした。これらの成果により、STRP 免震材料を用いた構造物の設計の妥当性を明確に示している。

本論文は、構造物の免震を経済的に実現するために適用することが可能な一つの新たな方法論を提示するとともにその性能の検証および設計の方法論を展開したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年7月31日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。