

京都大学	博士（工 学）	氏名	Md Basir ZISAN
論文題目	Assessment of Seismic Protection Effectiveness of Unbonded Scrap Tire Rubber Pad Base Isolation Using Finite Element Analysis (有限要素解析によるアンボンド廃タイヤゴムパッド免震構造の耐震性の評価)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>廃タイヤを矩形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) は、発展途上国で必要性が高い低コストの免震材料として、その利用の可能性が研究されてきた材料である。本論文は、STRP の免震支承への適用性について、主に有限要素法による挙動解析を行い実際に構造物設計基準などで要求されている性能との比較や具体的な特性の評価により明らかにしようとしたものである。</p> <p>第 1 章では、まず地震災害の軽減や構造物の耐震性能の向上を目的とした免震技術の現状および技術体系と、発展途上国において要求されるコスト低減の必要性から提案された廃タイヤゴムパッド (STRP) 免震支承に関する研究の背景を説明している。その上で STRP 免震支承の実用化に関して、支承と構造物を固定しないアンボンド形式の STRP 免震支承の復元力特性、および平面形状が正方形な場合のみならず、矩形形状での長さ幅が異なる事による影響の 2 点を解明が必要な課題として整理し、これを踏まえた上で本論文の構成を説明している。</p> <p>第 2 章においては、STRP 免震支承の特性の解明のために必要な方法論を論じる前提として、低コストの免震材や免震支承、アンボンド条件での適用手法、および廃タイヤを用いた免震技術の技術検討に関して、過去に実施されてきた研究とそこで用いられた方法論と結果を概観している。その上で、本研究で対象とする STRP の技術的な位置付けに基づき、本論文における検討の方針をまとめて述べている。</p> <p>第 3 章では、本研究で用いる有限要素解析の手順や有限要素の特性と、ゴム材料の非線形性を表現するために用いた超弾性構成則、STRP 免震支承の履歴復元力特性とエネルギー吸収性能を表すための粘弾性モデル、方向性を有する鋼線層の挙動を表す埋め込み棒材要素の取り扱い、要素間の接触の取り扱いと接触面間の摩擦挙動など STRP の解析に必要なモデル化の考え方を説明した上で、構築された STRP 免震支承の有限要素モデルについて述べている。さらに、既往の載荷実験結果を用いた STRP 免震支承の有限要素モデルの検証を実施し、鉛直特性や水平せん断正負交番載荷時の復元力特性を良好に表現できることを示している。</p> <p>第 4 章では、既往の研究において展開されているゴム支承の理論的評価手法の、アンボンド条件や矩形形状を考慮した STRP のせん断変形および鉛直載荷に対する剛性や変位荷重特性の評価への適用について論じている。得られる評価を前章で展開した有限要素モデルによる評価結果と比較し、良好な一致が得られることを示すとともに相違の原因や形状の影響について考察している。さらに、既存の設計基準において地震時に要求される変形性能および免震固有周期を調査し、こうした STRP 免震支承の適用可能な設計条件を明らかにしている。</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	Md Basir ZISAN
<p>第5章では、既存の米国 AASHTO-LRFD (荷重抵抗係数設計法) 設計基準でのゴム支承に関する基準に着目し、アンボンド条件の STRP 免震支承が定められた水平変位、圧縮、回転に関する設計基準を満足できるような許容値を有限要素解析により算出するとともに、理論解および過去の荷重試験結果との比較により検証した結果を述べている。同時に、矩形平面の長さ幅比など、支承の幾何学的な形状がその設計許容値に与える影響について論じている。推奨される形状を用いる限り、STRP 免震支承のゴム材料および鋼線に生じる応力・ひずみについては基準を満足する範囲に留まることを定量的に明らかにしている。</p> <p>第6章では、アンボンド条件の STRP 免震支承の2方向変形に対する性能を有限要素解析により検討している。様々な2方向変位のパターンにおける STRP 免震支承変位一荷重特性や、剛性・等価減衰の評価に基づく免震性能を論じている。変形が2方向となる事による影響は、復元力特性や免震性能への影響は 50%せん断を超える変形の場合に顕著となり、また変位及び荷重を各方向成分ごとに表示したときの見かけの剛性や等価減衰は、1方向変形に基づく評価よりも大きな値となることを見出している。</p> <p>第7章では、前章での検討に基づきアンボンド STRP 免震支承の2方向変位一復元力モデルの開発と提案を行っている。STRP 免震支承の履歴復元力特性に見られる、ひずみ振幅依存性、形状に起因するロールオーバー変形の影響、変形方向への依存性を考慮して2方向変位一復元力関係を表現するための修正 Park-Wen モデル (MPW モデル) を提案している。1方向繰り返し荷重、2方向円形軌跡荷重、ランダムな2方向荷重の場合についての提案モデルによる結果を有限要素解析の結果により検証し、高い精度でアンボンド STRP 免震支承の復元力を表現していることを確認している。さらに、アンボンド STRP 免震支承を用いた4層の免震建物の非線形時刻歴解析を実施し、提案モデルを用いた応答評価結果は、有限要素モデルを用いた解析と同等の評価を与えており、構造物の耐震性能評価に十分適用可能であることを論じている。</p> <p>第8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、廃タイヤゴムパッド (STRP) の構造物の免震支承としての実際的な適用性を明らかとするため、有限要素法を用いた挙動解析を行い、既往の実験結果や理論的評価手法を参照しながら STRP 免震支承の履歴復元力特性や等価減衰など具体的な免震性能を定量的に評価するとともに、構造物設計基準などで要求されている性能との比較を通じてその実現性を評価しようとした研究について述べたものである。見出された特性を表現できる新たな解析モデルを提案し、具体的な構造物モデルへ適用した場合の解析を通じた精度を検証しており、一連の研究により得られた主な成果は次のとおりである。

1. アンボンド STRP 免震支承の解析に必要となる、ゴム材料に起因する非線形履歴復元力特性、方向性を有する鋼線層の表現、接触条件や接触面間の摩擦挙動などを取り入れた有限要素モデルを構築した数値解析を行い、ロールオーバー挙動などを再現するとともに、鉛直特性や水平せん断正負交番載荷時の復元力特性を良好に表現できることを既往の載荷実験結果との比較により示している。
2. 従来提案されているゴム支承の理論的評価手法を、アンボンド条件や幅と長さの寸法が異なる矩形形状を考慮した STRP に適用する方法を新たに提案し、評価式を示している。STRP の実際的な適用に大きく寄与することが期待できる成果である。
3. 既存の設計基準において地震時に要求される変形性能および免震固有周期との比較により、STRP 免震支承の適用可能な設計条件や設計基準を満足できるような許容値を明らかにしている。
4. アンボンド STRP 免震支承の 2 方向変形に対する性能を有限要素解析により検討し、従来の手法である 1 方向載荷による評価と比較した変形の 2 方向性の影響が顕著となる条件を定量的に明らかにしている。また、2 方向性変形時の見かけの剛性や等価減衰は、1 方向変形に基づく評価よりも大きな値となることを示した上でその具体的な変動範囲を明らかにしている。
5. アンボンド STRP 免震支承の 2 方向変位-復元力特性を表現する数値モデルを新たに開発している。将来的にアンボンド STRP 免震支承を適用した構造物の耐震性能評価のための数値計算を容易とすることを可能とするモデルの提案であり、今後の実用化に貢献する可能性がある成果である。

本論文は、特に発展途上国における社会基盤施設の地震時安全性の向上に貢献する可能性のある、より合理的な構造の開発につながる技術を提供するとともに、特別な材料特性と設置条件、大地震時における大変形挙動を含む現象を評価できる高度な構造解析手法の適用と評価の方法論を提示しており、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、令和 3 年 8 月 4 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。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。