

令和元年5月15日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14180

研究課題名（和文）廃タイヤ活用による構造物高耐震化システムの開発

研究課題名（英文）DEVELOPMENT OF A SEISMIC RESISTING SYSTEM FOR STRUCTURES USING WASTE TIRES

研究代表者

菊地 優（KIKUCHI, Masaru）

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：50344479

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自動車用の廃タイヤを切断・分割・積層して製作されるゴムパッド（Scrap Tire Pads: STP）を用いた構造物の高耐震化システムの開発に取り組んだ。STPの力学特性の解明および提案システムによる地震応答制御効果の検証を具体的な研究目的とした。STP試験体に対する静的および動的な載荷実験を行い、鉛直方向および水平方向の各種特性を把握した。さらに、地震応答解析により提案システムの制御効果を検証した。これらを通して、STPの力学的性状を明らかにするとともに、提案システムが構造物の耐震性向上に概ね有効であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、自動車用の廃タイヤを切断・分割・積層して製作されるゴムパッド（STP）を用いた構造物の高耐震化システムについて検討した。STPは、入手性・経済性・環境負荷の面で優れた材料である。STPは、世界各国で容易に調達可能な廃タイヤから製作でき、特殊な加工技術を必要としない。提案システムは、先進国はもちろん途上国でも低コストに適用できる耐震性向上技術になり得る可能性があり、廃材の活用による環境負荷低減への貢献という面でも意義があると期待している。

研究成果の概要（英文）：In this study, an earthquake protection system for structures using rubber pads (Scrap Tire Pads: STP), which are manufactured by cutting, dividing, and laminating waste tires for automobiles, was investigated. This research aimed to elucidate the mechanical characteristics of STPs and verify the seismic response control effects when the proposed system was installed into building structures. A series of static and dynamic loading experiments were conducted on STP specimens to understand various characteristics in the vertical (compression) and horizontal (shear) directions. Furthermore, the control effects of the proposed system were numerically analyzed by seismic response simulations. From these, the mechanical properties of STP units were obtained and it showed that the proposed system would be generally effective for improving the earthquake resistance of structures.

研究分野：耐震工学

キーワード：Scrap Tire Pads STP 廃タイヤ タイヤゴムパッド 制振構造 マスダンパー 高減衰化 地震応答制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、低コストで入手性に優れた廃タイヤを用いて免震構造を構築することが提案されており、廃タイヤを切断・分割・積層して製作したゴムパッド (Scrap Tire Pads : STP) を免震支承として用いる研究 (引用文献) が報告されている。ただし、STP の既往研究は限定的であり、振幅・速度・面圧依存性などの性状については未解明であった。また、STP は、基礎免震建物の支承として用いる場合には、一般的に使用される積層ゴム支承と比べて力学性能的には劣る面もあると考えられた。

その一方で、大型マスタンパーの支承として STP を用いることを想定すると、既往研究 (引用文献) より STP には適度な水平剛性、変形能力、鉛直荷重支持能力があり、さらに STP 単独でも 10% 程度以上の等価減衰定数を発揮することが期待できた。このため、鉄筋コンクリート造建物用の地震用質量制振システムに STP を活用することが引用文献 で着想・提案された。

2. 研究の目的

本研究では、引用文献 の提案内容を推し進め、自動車用の廃タイヤを切断・分割・積層して製作されるタイヤゴムパッド STP (図 1) を活用した構造物の地震用質量制振システム (図 2) の開発に取り組んだ。具体的な研究目的は、STP の力学特性の解明および提案システムによる地震応答制御効果の検証とした。STP 試験体に対する静的および動的载荷実験を行い、鉛直および水平方向の各種特性を把握した。さらに、地震応答解析を行い、提案制振システムによる制御効果を検証した。これらにより、STP という入手性・経済性・環境負荷に優れた材料を用いつつ、鉄筋コンクリート造建物などの構造物を高耐震化・高減衰化することを狙いとしました。

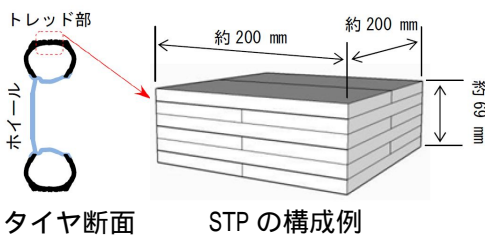


図 1 タイヤゴムパッド (STP)

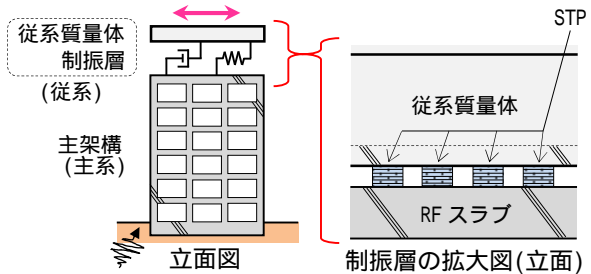


図 2 提案制振システムの概要

3. 研究の方法

(1) STP 試験体の载荷実験の方法

計 4 体の STP 試験体 (図 3) に対して、鉛直载荷実験および水平载荷実験を行った。自動車用ラジアルタイヤのトレッド部 (路面に接する部分) からゴムパッドを切り出し、接着剤を用いて積層することで STP 試験体を制作した (図 1)。試験体 T*0 は中古タイヤ、T*N は新品タイヤからそれぞれ製作した。試験体 T1* と T2* は製造業者の異なるタイヤを使用した。STP 試験体は、平面寸法を約 200 mm x 200 mm とし、高さ方向に 6 枚重ね (厚さ約 69 mm ~ 80 mm) とした。

各試験体に対して同じ载荷メニュー (表 1) を実施した。Run 1 および Run 23 は鉛直 1 軸圧縮载荷とした。Run 2 ~ Run 22 は一定鉛直面圧下における水平方向の正弦波载荷とした。実験結果に基づいて、STP の力学的特性について分析を行った。

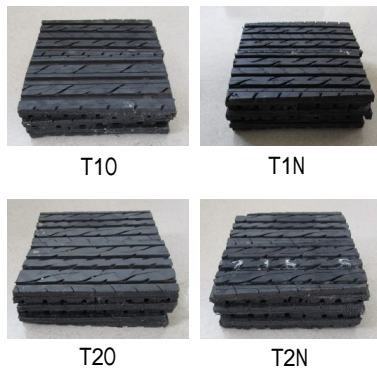


図 3 STP 試験体

表 1 载荷メニュー

| Run | 鉛直面圧 [MPa] | 水平 | | | 備考 |
|----------|------------|------------|----------|------|---------|
| | | 振動数 [Hz] | 振幅 [mm] | サイクル | |
| 1 | 0.1 | - | - | - | 鉛直 |
| 2/3/4/5 | 1 | 0.25/1/2/3 | 5 | 3 | 水平 + 鉛直 |
| 6/7/8/9 | 1 | 0.25/1/2/3 | 10 | 3 | |
| 10/11/12 | 1 | 0.25/1/2 | 20 | 3 | |
| 13/14/15 | 0.5 | 0.25 | 5/10/20 | 3 | |
| 16/17/18 | 2 | 0.25 | 5/10/20 | 3 | |
| 19 | 1 | 0.25 | 20 | 30 | |
| 20/21/22 | 1 | 0.25 | 40/60/80 | 3 | 鉛直 |
| 23 | 0.5 | - | - | - | |

(2) 提案制振システムの制御効果検討の方法

10 階建ての鉄筋コンクリート造建物に提案する制振システムを設置する場合を想定し、質点

系モデルを用いた地震応答解析を行った。建物の主架構にはトリリニア型の復元力特性を与えた。基礎の支持条件は、基礎固定 (FIX) およびスウェイ・ロッキング動を考慮する場合 (SR1、SR2) の計 3 ケースとした。

制振システムは、建物上部構造の総質量に対して質量比 0.1 の付加質量を建物頂部に設置した。制振層には水平方向に剛性要素および粘性減衰要素を設置し、それらの諸元は(1)の载荷実験から得られた STP の等価剛性および等価粘性減衰定数の特性データに基づいて設定した。この際、定点理論による最適同調設計式を用いて主架構の弾性 1 次固有周期にあわせて制振システムの剛性を設定した場合、およびそれよりも制振層の剛性 (および減衰係数) を 0.5 倍または 0.25 倍に低減して設定した場合について、それぞれ検討した。入力地震波は、地動最大速度を 0.5 m/s に基準化した観測地震動 (計 10 波) を用いた。

4. 研究成果

(1) STP 試験体の载荷実験の結果

鉛直 1 軸圧縮の载荷実験の結果、STP 試験体は Run 23 で 5 MPa までの鉛直荷重を受けても、外観からは損傷は認められなかった。

水平载荷時の実験結果の例として、Run 12 における荷重 - 変位関係を図 4 に示す。各 STP 試験体とも、太さのある楕円または紡錘形の履歴ループが示され、ダンパー等を別途設置しなくても STP 単独である程度の減衰性能を有することが確認された。このことは既往研究 (引用文献) の知見とも合致する。

各 STP 試験体とも、载荷振動数が高いほど等価剛性および等価粘性減衰定数が増加し (図 5、図 6) 载荷振幅が大きいほど等価剛性が低下する傾向が示された。また、タイヤの使用状況、製造業者の違いによって STP 試験体の力学特性にある程度の差異が生じることが確認された。このことから、これらの STP の特性変動を制振システムの設計の際に考慮することが必要であることが示された。

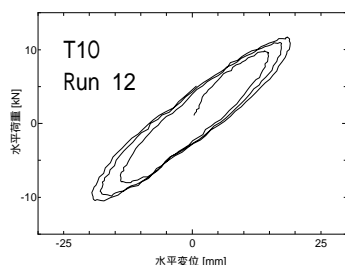


図 4 履歴ループの例

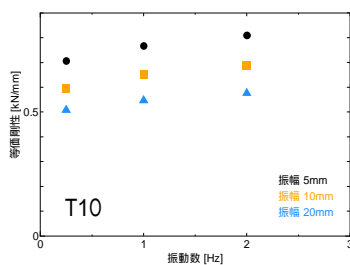


図 5 等価剛性の例

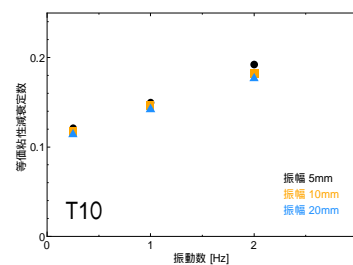


図 6 等価粘性減衰定数の例

(2) 提案制振システムの制御効果検討の結果

質点系モデル (図 7) を用いた地震応答解析の結果、提案制振システムを適用することで建物の地震時最大応答を概ね低減できることが示された (図 8)。また、制振層の設定の際、強震動入力に対しては、主架構の弾性 1 次固有周期に対して同調設計した場合よりも、建物主架構が塑性化し等価周期が伸長することを考慮して制振層の剛性 (および減衰係数) を低減して設定した場合の方が、全般的に優れた制御効果が得られた。

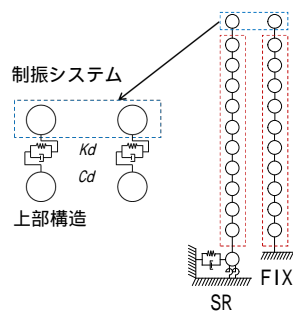


図 7 解析モデル

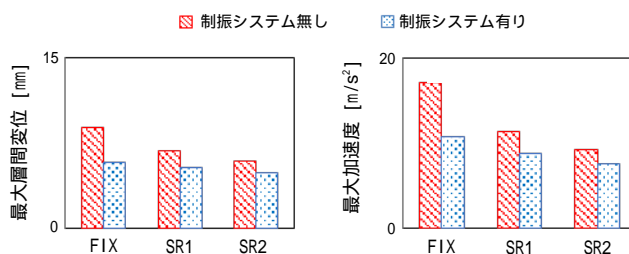


図 8 解析結果の例 (最大応答の 10 地震波平均、制振層の剛性を 0.25 倍に低減した場合)

これらの検討を通して、STP の力学的性状が明らかになったとともに、提案制振システムが構造物の耐震性向上に概ね有効であることが示された。

< 引用文献 >

Ahmet Turer, Bayezid Ozden, Seismic base isolation using low-cost Scrap Tire Pads (STP), Materials and Structures, 41, 2008, pp.891 - 908

五十嵐晃、松島弘、Mishra Huma Kanta、廃タイヤゴムパッド免震材の材料特性および変形性能の検討、土木学会論文集 A1、69(4)、2013、pp.958 - 964

Huma Kanta Mishra、Akira Igarashi、Hiroshi Matsushima、Finite element analysis and experimental verification of the scrap tire rubber pad isolator、Bulletin of Earthquake Engineering、11、2013、pp.687 - 707

白井和貴、菊地優、廃タイヤの活用による RC 建物に適した地震用質量制振システムの提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、2015、pp.609 - 610

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計4件)

Jihyun PARK、Kazutaka SHIRAI、Masaru KIKUCHI、A Proposal of a Seismic Mass Damper System Using Waste Tires Appropriate for RC Building Structures Part 5 Earthquake response analysis using nonlinear MDOF models、Summaries of technical papers of annual meeting Architectural Institute of Japan、2019

朴志現、白井和貴、菊地優、廃タイヤの活用による RC 建物に適した地震用質量制振システムの提案 その4 異なる STP 試験体の実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、2018、pp.353 - 354

朴志現、白井和貴、菊地優、廃タイヤの活用による RC 建物に適した地震用質量制振システムの提案 その3 実験結果分析と地震応答解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、2017、pp.745 - 746

白井和貴、朴志現、菊地優、廃タイヤの活用による RC 建物に適した地震用質量制振システムの提案 その2 STP 試験体の載荷実験の方法と結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、2017、pp.743 - 744

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：白井 和貴

ローマ字氏名：(SHIRAI, Kazutaka)

所属研究機関名：北海道大学

部局名：工学研究院

職名：准教授

研究者番号(8桁)：20610968

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。