

動的載荷実験に基づく高減衰積層ゴム(HDR)の初期履歴及びハードニング現象を考慮した履歴モデルに関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○ 朴 敬勲
九州大学大学院 フェロー会員 松田 泰治
九州大学大学院 正会員 梶田 幸秀

1. はじめに

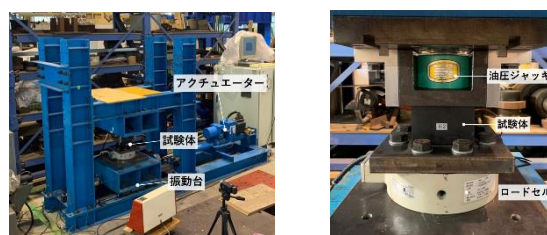
高減衰積層ゴム支承は免震装置の一つとして天然ゴムとカーボン充填材を混合することによってゴム自体に高い減衰性能を持たせた免震用ゴム支承であり、地震動のエネルギーが伝達される経路を遮断し、構造物が地震の影響を免れるように仕組んだ装置である。高減衰積層ゴム支承は単体で固有周期を調節する機能と減衰性能を向上させる機能を有する優れた装置であり、維持管理のコスト面で大きな利点がある。さらに、環境に優しい材料を使用することによって、その使用性が徐々に増加し、注目されている、しかし、せん断変形に対する高減衰積層ゴム支承の履歴は最大経験ひずみ及びハードニング現象に依存しており、その非線形性が強い。本研究では、動的載荷実験に基づいて高減衰積層ゴムの依存性及び履歴特性を把握し、実験の結果から高減衰積層ゴムの初期履歴及びハードニング現象を表現できる履歴曲線のモデル化を行った。また、動的載荷実験の結果と力学的特性を比較し、新たに提案された履歴モデルの妥当性について検討を行った。

2. モデル化手順

(1) 動的載荷実験

高減衰積層ゴムの履歴特性及び材料特性を把握するため、縮小模型の試験体(制作:横浜ゴム)を利用し、日本道路協会の基準に従って動的載荷実験(JIS K 6411)を実施する。実験の概要は構造物の死荷重相当の鉛直荷重を考慮した動的載荷実験である。実験の目的としては、高減衰積層ゴム試験体の初期履歴に関する特性を検討することである。実験方法は試験体に油圧ジャッキによる鉛直荷重を加え、アクチュエータによってせん断変形を与えることで試験体の荷重および変位を測定する。図-1に実験装置及び取付部を示す。試験体の寸法は110mm×110mm×73mmでゴムの静的せん断弾性係数は0.8N/mm²である。ハイブリットアクチュエー

タを用いて加振を行った。入力波にはせん断ひずみ50%(8mm)から250%(40mm)まで漸増する正弦波を使用し、変位制御により加振を行った。図-2に動的載荷実験の結果を示す。実験の結果から最大経験ひずみ依存性及びハードニング現象が確認できた。



(a) アクチュエータ (b) 試験体取付部
図-1 実験装置

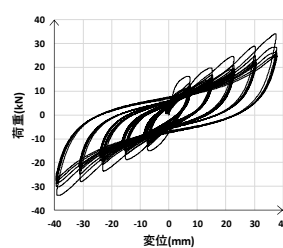


図-2 実験結果

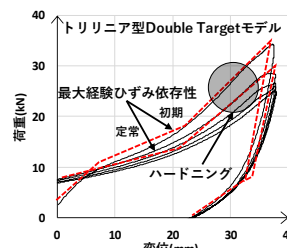


図-3 履歴モデル概念図

(2) トリリニア型 Double Target モデル

図-3には履歴モデルの概念図を示す。動的載荷実験の結果に基づき、新たな履歴モデルのモデル化を行う。最終的には高減衰積層ゴムの最大経験ひずみ依存性及びハードニング現象まで考慮することを目的とする。そのため、トリリニア型 Double Target モデルを考案し、ハードニングが発生するひずみ領域での実験結果をよく再現することができるようにパラメータを設定した。本研究では、履歴モデルの骨格曲線を初期骨格曲線と定常骨格曲線に分けることによって、高減衰積層ゴムの最大経験ひずみ依存性及びハードニング現象を考慮した。

キーワード 高減衰積層ゴム支承, HDR, 動的載荷実験, 動的解析, バイリニアモデル

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 W2 1101 九州大学 建設振動工学研究室 TEL 092-802-3374

3. 動的解析

(1) 解析条件

図-4, 5 に 1 質点系振動モデル及びモデル化手順によるトリリニア型 Double Target モデルの各パラメータを示す. 表-1 には実験結果の履歴データからモデル化の手順によって設定したパラメータを示す. 本研究では, 大きなせん断変形領域における高減衰積層ゴムの履歴特性を示すために, 動的載荷実験の結果の中で最もせん断変形の大きいデータを採用した. また, 動的載荷実験と同じせん断ひずみを入力波として設定し, 強制変位による動的解析を行った.

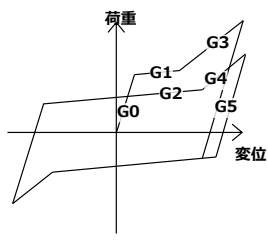
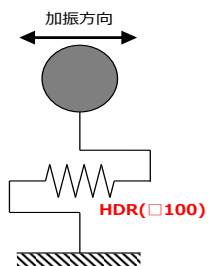


図-4 1 質点系振動モデル

図-5 トリリニア型 Double Target モデル

表-1 履歴モデルのパラメータ設定

G0(N/mm)	G1(N/mm ²)	G2(N/mm ²)	G3(N/mm ²)
1785	998	787	1747
G4(N/mm ²)	G5(N/mm ²)		
1336	14527		

(2) 解析結果

図-6 は強制変位を与えた際に, 表-1 で設定したトリリニア型 Double Target モデルと実験結果の比較を示す. また, 図-7 では, ハードニング現象が顕著なせん断ひずみ 250%の解析結果を示す. 履歴モデルの骨格曲線を初期骨格曲線と定常骨格曲線に分けた結果, 高減衰積層ゴムの力学特性を精度よく表現することが可能となった. しかし, せん断ひずみ 250%のデータに基づきモデル化を行ったため, せん断ひずみ 150%以下の領域では初期剛性である第 1 剛性が実験結果に比べ過小評価となった.

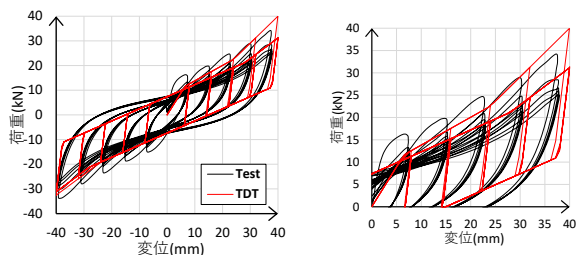


図-6 比較結果

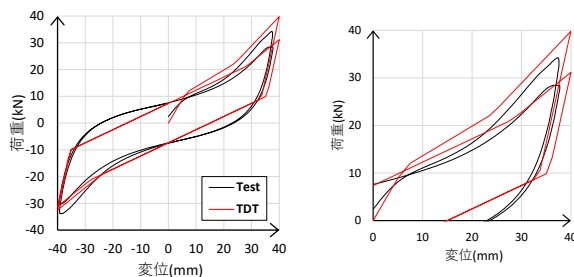


図-7 比較結果(せん断ひずみ 250%)

4. 力学特性評価

図-8 は力学特性評価の結果を示す. 本研究では, 最大荷重, ループ面積, 等価剛性, 減衰定数を比較した. その結果, ループの面積は実験結果と 10%の誤差が見られるが, その面積の低下率は同じ傾向を示している. また, 最大荷重, 等価剛性及び減衰定数の場合は実験結果を概ね再現したことを確認した.

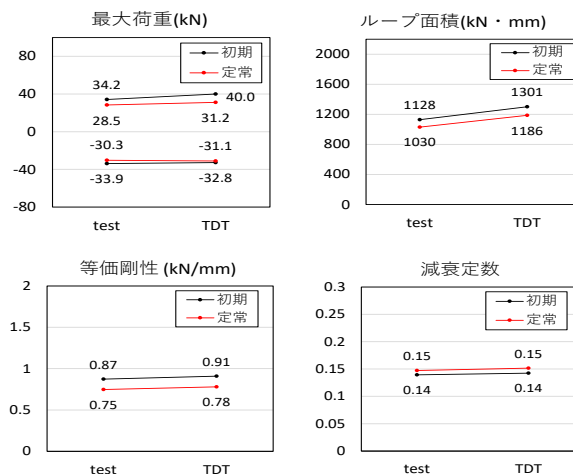


図-8 力学特性評価の比較

5. まとめ

本研究では動的載荷試験の結果に基づいて, トリリニア型 Double Target モデルのモデル化手順を提案した. その結果, 提案モデルを用いることにより, 高減衰積層ゴムの履歴特性である最大経験ひずみ及びハードニング現象を含め, 動的載荷実験の結果をよく再現することが可能となることを確認した.

謝辞

本研究は HDR 研究会 (川金コアテック, 住友理工, 日本 Casting, ブリヂストン, 横浜ゴム) と共同で行った研究成果の一部である.

キーワード 高減衰積層ゴム支承, HDR, 動的載荷実験, 動的解析, バイリニアモデル

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 W2 1101 九州大学 建設振動工学研究室 TEL 092-802-3374