高減衰積層ゴム支承(HDR-S)の初期履歴を考慮した力学特性評価

九州大学大学院　学生会員　○朴　敬勳　　九州大学　学生会員　藤原 祐貴
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

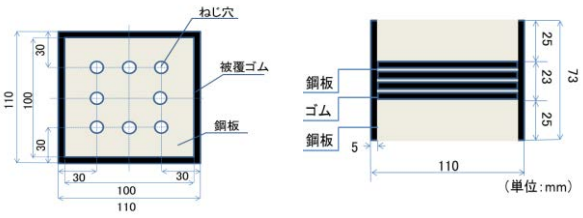
1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震が発生し，道路橋などの土木構造物への甚大な被害が生じた．それに伴って，橋梁の支承や他の構造物に対して免震構造や免震装置が用いられるようになった． 免震装置のひとつとしてゴム自体に高い減衰性能を持たせた高減衰積層ゴム支承がある． 構造が単純なものであるため，メンテナンスや価格の面で他の免震装置に比べて有利になることで注目されている．免震装置の選択の幅を広げ，安価で将来にわたり使われる免震構造物を建設していくためには，高減衰積層ゴム支承の力学特性の各種依存性やそれらが地震応答に与える影響を明確にしていくことが重要である．本研究では積層ゴム試験体を用いた実験を行うことで，高減衰積層ゴム支承の力学特性を把握し，特に最大経験ひずみ依存性について検討した．

2. 積層ゴム試験体を用いた動的載荷実験

（1） 実験概要

高減衰積層ゴム試験体に対して，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を行った．油圧ジャッキにより鉛直方向に荷重を作用させながら，アクチュエータによってせん断変形を与えた．実験結果より高減衰積層ゴム支承が持つ力学特性について把握し，最大経験ひずみ依存性が高減衰積層ゴム支承に及ぼす影響について検討した．



(a) 平面図　　(b) 断面図

図-1　試験体概要

（2） 試験体概要

今回試験で用いた試験体を図-1 に示す．試験体は 110mm×110mm×73mm でゴムの静的せん断弾性係数は 0.8N/mm² である．厚さが 25mm の SS400 鋼板に挟まれ，試験体内部には厚さ 2.3mm の補強鋼板が 3 枚と厚さ 4mm の高減衰ゴムが 4 層に積層されており,その周りを内部保護のため被覆ゴムが覆っている．

（3） 実験装置

図-2 に実験に用いたアクチュエータと設置した試験体を示す．荷重はアクチュエータに内蔵されているロードセルを用いて計測した．また，試験体には構造物の死荷重を想定した 60kN の鉛直荷重を作用させ加振を行った．

(a) 全体図　　(b) 取付部

図-2　試験装置

（4） 加振条件

加振ケースを図-3 に示す．試験体は 3 体で，以下の載荷条件で実験を行った．0.5Hz の正弦波によりすべてのケースにおいて 5 回加振を行った．

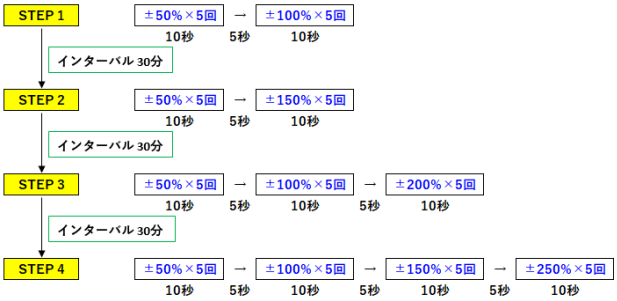


図-3　加振ケース

（5） 実験結果

図-4 に No.2 試験体の履歴曲線の重ね書きを示す．各せん断ひずみにおいて 1 波目から 2 波目にかけて大幅な荷重の低下が認められた．No.2 試験体について各せん断ひずみの等価剛性と等価減衰定数を評価した．実験で得られた履歴曲線の等価剛性 K_{eq} は式(1)を，等価減衰定数 h_{eq} は式(2)を用いて算出した．

キーワード：高減衰積層ゴム，HDR-S，バイリニア型 Double Target モデル，動的載荷実験
連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 W2 1101 電話&FAX：092-802-3374

© Japan Society of Civil Engineers

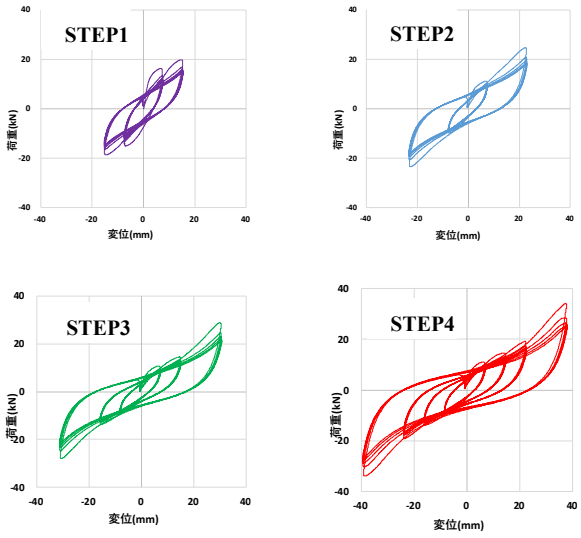


図-4　履歴曲線

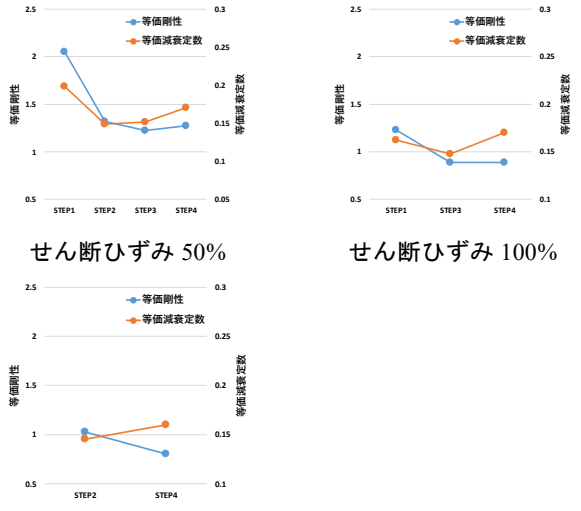
$$K_{eq} = \frac{F_{(D_{max})} - F_{(D_{min})} - 2F}{D_{max} - D_{min}} \quad (1)$$

$$h_{eq} = \frac{1}{4\pi}\left(\frac{\Delta W}{W}\right) \quad (2)$$

K_{eq}：等価剛性, F：摩擦力　　h_{eq}：等価減衰定数

F_{Dmax}, F_{Dmin}：最大，最小復元力　　w：ひずみエネルギー

D_{max} , D_{min}：最大，最小変位　　Δw：履歴吸収エネルギー



せん断ひずみ 50%　　せん断ひずみ 100%

せん断ひずみ 150%

図-5　等価剛性と等価減衰定数の比較(1 波目)

図-5 に等価剛性と等価減衰定数の比較を示す．加振ケースが進むにつれて等価剛性が低下している傾向を示しており，等価剛性の低下には加振前に経験したせん断ひずみの大きさが大きく関係していると考えられる．等価減衰定数は低下した後、上昇していることが読み取れた．等価減衰定数の経験ひずみ依存性の影響は等価剛性ほど大きくないと考えられる．

3.　動的載荷実験に基づく HDR-S のモデル化

（1）モデル化手順

高減衰積層ゴムの復元力モデルについては二本の骨格曲線とそれとは独立の履歴曲線で定義するバイリニア型 Double Target モデルを使用した．各パラメータ設定は以下の手順で行われた．

① 初期骨格曲線の第 1 剛性は 1 サイクルのせん断ひずみの 15%の点と原点を結ぶことで定める．

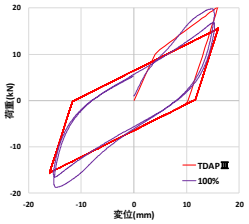
② 初期骨格曲線の第 2 剛性は 1 サイクルのせん断ひずみの 15%の点と最大荷重の点を結ぶことで定める．

③ 定常骨格曲線の第 2 剛性は 2 サイクルのせん断ひずみの 15%の点と最大荷重の点を結ぶことで定める．

④ 除荷剛性は 1 サイクルの最大変位の点とせん断ひずみの 90%の点を結ぶことで定める．

⑤，⑥　各サイクル終了時の荷重で定める．

（2）解析結果



パラメータ

①	初期骨格の第 1 剛性	2552 (N/mm)
②	初期骨格の第 2 剛性	1113 (N/mm)
③	定常骨格の第 2 剛性	754 (N/mm)
④	除荷剛性	6688 (N/mm)
⑤	初期骨格の切片荷重	5682 (N)
⑥	定常骨格の切片荷重	5451 (N)

図-6　実験結果とバイリニア型 Double Target モデルとの比較(せん断ひずみ 100%)

図-6 に構造解析プログラム TDAPⅢを用いた STEP1 のせん断ひずみ 100%での応答を示す．実験データから図中に示すパラメータを設定した．その結果，高減衰積層ゴムの最大経験ひずみ依存性を表すことができ，合致度が向上した．

4.　まとめ

本研究では高減衰積層ゴム支承の最大経験ひずみ依存性を動的載荷実験およびモデル化をすることで確認した．最大せん断ひずみの大きさによって復元力特性が異なることが実験的に明らかになった．今後は構築した履歴モデルを用いて橋梁全体系での解析を行い，上下部構造に与える影響を検討する予定である．

謝辞：本研究は HDR 研究会（川金コアテック，住友理工，日本鋳造，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．

© Japan Society of Civil Engineers