

京都大学工学部 学生員 ○井上和真
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐晃 学生員 夢屋文字
 近畿職業能力開発大学校 フェロー 家村浩和
 川口金属工業 (株) 正会員 吉田雅彦
 阪神高速道路 (株) 正会員 長澤光弥

1. 概要

既設の長大鋼斜張橋の耐震補強に採用が検討されている超高減衰ゴムを利用したダンパー (以下、積層ゴムダンパー (図 1, 図 2)) に着目し、複数のゴム体より構成されている実構造の積層ゴムダンパーを再現した縮小モデルに準静的載荷試験を行い、制震ダンパーとしての性能評価を行った。

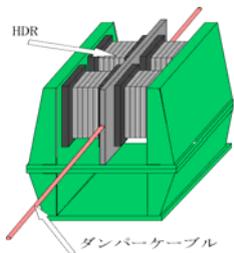


図 1 積層ゴムダンパー

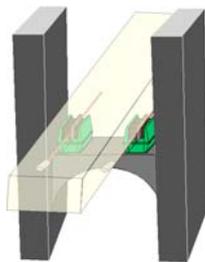


図 2 橋梁への設置法

2. 積層ゴムダンパーによる橋梁の耐震補強

今回適用が検討されている積層ゴムダンパーは、積層ゴム 4 基を水平に並べた構造となっている。積層ゴムダンパーは他の方式の制震装置に比べ、能力に比して低コスト、維持管理面で有利などの利点があると考えられる。

3. 試験概要

3.1 試験装置および試験供試体

実験装置概略図を図 3、供試体に使われた積層ゴム 1 つの諸元を表 1 に示す。また、供試験体の諸元を表 1 に示す。供試体は 4 個の積層ゴムを組み合わせた積層ゴムダンパーの機構と可能な限り同一な構造とした。

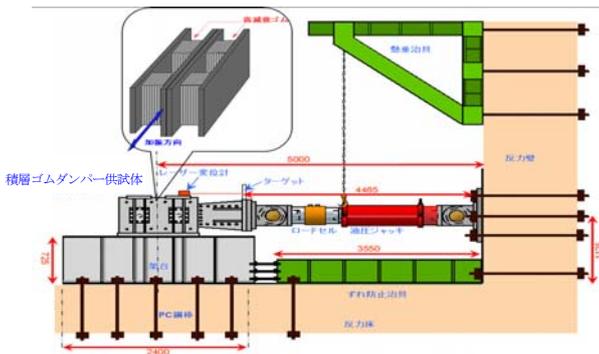


図 3 実験装置概略図

表 1 供試体積層ゴムの諸元

G(N/mm ²)	1.2
平面寸法(mm) x (mm)	300x300
断面積(m ²)	0.09
ゴム厚(mm)	7
層数(層)	8
ゴム総厚(mm)	56

3.2 積層ゴムダンパーのシステム性能試験

供試体に積層ゴムせん断ひずみ ±175% に相当する 5 回の繰返水平変位を与える試験を行なった。面圧依存性を確認するために、0.5、1.5、3.0MPa の 3 種の面圧状態での載荷をあわせて行った。従来、積層ゴムの性能の評価はしばしば 2 から 11 回の特性値の平均で行なわれているが、その平均値と繰返載荷の 5 サイクル目の特性値は非常に近いことが見出されており、今回の試験では 5 サイクル目に着目している。

3.3 積層ゴムダンパーのせん断変形性能試験

積層ゴムのせん断ひずみ 300% を許容値とする設計の妥当性を検討するため、せん断ひずみ 325% (押し側)、309% (引き側) に相当する水平変位を 1 回与え、その後押し側にせん断ひずみ 100%、引き側せん断ひずみ 300% に相当する水平変位を 7 回与え、積層ゴムが破断することなくエネルギー吸収能を示すかどうか検証を行なった。

4. 実験結果

4.1 積層ゴムダンパーのシステム性能試験

(1) 面圧依存性

面圧依存性を検討するため、横軸にせん断ひずみ (%)、縦軸に 5 サイクル目のみに着目した等価剛性、等価減衰定数の面圧なしの時の各々の値に対する比をプロットした結果、および水平荷重-水平変位の載荷履歴を図 4 に示す。面圧が高い場合は等価剛性、等価減衰定数ともに全般的に面圧なしの場合より低下している傾向が見られる。載荷順序が、面圧なし → 3.0MPa → 1.5MPa

→0.5MPa の順で行なわれたため、载荷履歴が積層ゴムの状態に影響したことや、実験における特定の载荷サイクルの特性が反映されている結果であることも一因と考えられるが、等価剛性、等価減衰定数とも変動率は 10% 以内であり、面圧依存性は小さいことを示している。

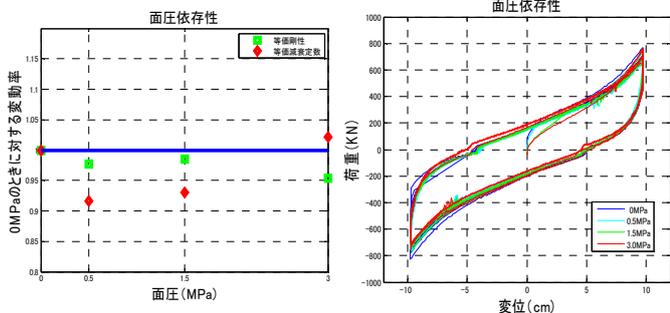


図4 面圧依存性 (等価剛性、等価減衰定数)

(2) ゴム体単体との整合性

本試験で用いた全ての積層ゴムは、ゴム単体ごとに、面圧なしの条件でせん断ひずみ 175% の 11 回载荷による検査が予め行なわれている。実際に積層ゴムダンパーを施工する際の出荷時にも同様の検査を経ると想定される。単体試験と、システム性能試験の履歴曲線を比較したものを図 5 に示す。この履歴曲線から求めた吸収エネルギー量は単体試験のほうが大きい。単体試験において 2 から 11 回目までの平均値で算出された等価剛性は 7.2KN/mm、等価減衰定数は 2.0 に対して、同じ試験条件のシステム性能試験において 5 サイクル目の値で算出された等価剛性は 7.3KN/mm、等価減衰定数は 0.171 となり、整合性はそれぞれ、99%、86% となった。

また、ゴム体にとって、システム試験の 1 サイクル目の载荷を 12 サイクル目に相当すると見なして、等価剛性、吸収エネルギー量の変化を示したのが図 6,7 である。11 サイクル目と 12 サイクル目に等価剛性が回復しているが、これは単体試験とシステム性能試験での約 2 週間の時間間隔によるものであると考えられる。等価剛性は初期値の 94% まで回復を示しているが、吸収エネルギー量については明確な回復の傾向は見られない。

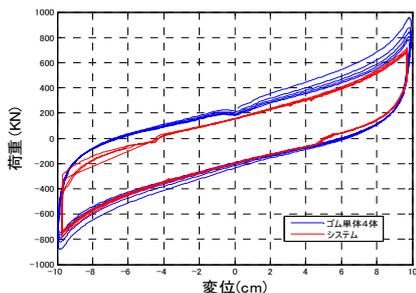


図5 ゴム単体時試験とシステム性能試験結果

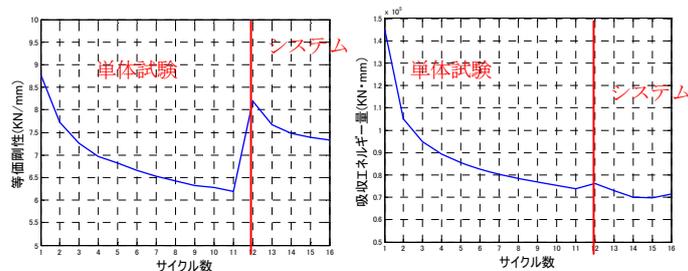


図6 等価剛性の変化 図7 吸収エネルギー量の変化

4.2 せん断変形性能試験結果

図 8 に、325% および 300% の繰り返しせん断変形性能試験の荷重-変位の履歴図を示す。積層ゴムダンパーはいずれにおいても破断することなくエネルギー吸収能を示した。小変形時は剛性が大きく、大変形時は剛性が小さく、せん断ひずみ 200% 以上の過大変形時にはハードニングする特徴的な非線形の履歴特性を示した。最大せん断ひずみ 325% の試験では等価剛性が全ての試験ケースの最大の 12.9KN/mm となり、ハードニングの影響が大きい。許容せん断ひずみ 300% の値に基づく設計で十分な性能と判断される。

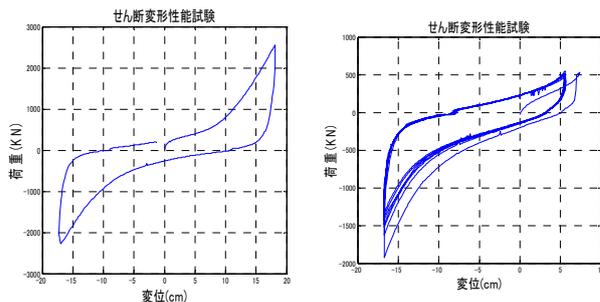


図8 せん断変形性能試験結果

5. 結論

ゴム体単体と積層ゴムダンパーの特性の整合性は、等価剛性は 99%、等価減衰定数 86% であった。

単体試験とシステム実験の間隔は約 2 週間あり、その間に等価剛性は初期値から 94% までの回復を示したが、エネルギー吸収量は明確な回復傾向は見られなかった。

積層ゴムダンパーにおいて面圧依存性は小さく、面圧なしでも十分な減衰性能、エネルギー吸収能力を持つこと、および、せん断ひずみ 325% に相当する水平変位まで耐えることを確認し、長大鋼斜張橋の制震装置としての有効性を示した。