

回転機構を付加した免震支承の復元力特性

京都大学 正会員 ○高橋 良和 京都大学 学生会員 中本 庸介
 京都大学 フェロー 家村 浩和 川口金属 正会員 鶴野 禎史
 川口金属 正会員 姫野 岳彦

1. 概要

橋梁用積層ゴムの設計においては、常時活荷重によって生じる桁の振動によって発生する回転変形に対する追従性能の照査を行う必要があり、その値は桁端部で $1/150\text{rad}$ を考慮することになっている。また大地震時には橋脚の塑性化が考えられるが、その場合、橋脚天端には常時活荷重による回転角 ($1/150\text{rad}$) より 10 倍程度大きな回転角が積層ゴム支承に生じるという報告もある。そこで本研究では、従来型の橋梁用高減衰積層ゴム支承の上部に回転機構を付加した免震支承を用い、一定軸力下 (60tf) での水平・回転同時载荷による正負交番実験を行った。さらに解析的検討を行い、積層ゴムの上部に回転機構を付加することによる積層ゴム部の変形状態への影響等の考察を行った。

2. 実験システム

本研究で使用した実験装置の概略図を図 1 に示す。アクチュエータ 1 号機は変位制御、2 号機・3 号機は鉛直力に対して荷重制御、回転に対して変位制御となるよう計算制御を行った。支承脚部を固定支持し、頭部に载荷アームを介して鉛直力・水平変位・回転角を同時に任意に与えることができる。

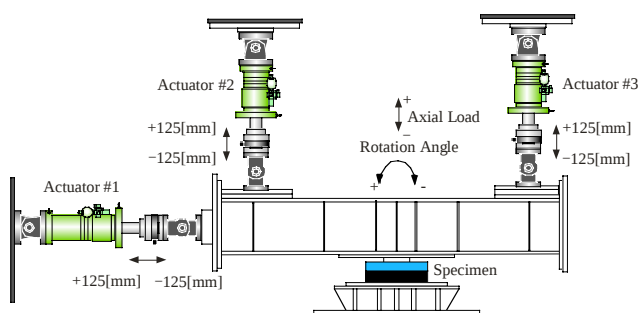


図 1 実験システム

3. 実験供試体

図 2 に実験供試体図の 1 つを示す。従来の積層ゴム構造の上部に BP.B 支承（密閉ゴム支承板支承）として多くの実績を有する密閉ゴムによる回転機構を設けた支承であり、積層ゴム部は 320mm 角である。回転機能付高減衰積層ゴム支承（一次形状係数 $S_1=16, 22$ ）に加え、従来型の橋梁用高減衰積層ゴム支承 ($S_1=8$) も併せて用いた。本論文では、これらの供試体をそれぞれ S8, S16, S22 と呼ぶ。

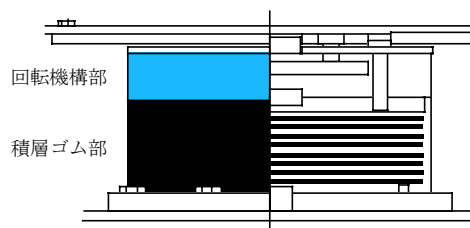


図 2 回転機構部付積層ゴム支承

4. 実験結果および考察

図 3 に回転機構の無い S8 の復元力特性を示す。载荷パターン A とは回転によって生じる積層ゴム片端部の引張応力と水平変形によって生じる引張応力が同時に最大となるよう同位相で载荷するものであり、载荷パターン B とは逆位相で载荷するものである。図中の実線は作用させた回転角が 0 rad 、点線は $1/150\text{ rad}$ 、鎖線は $1/75\text{ rad}$ のものである。図 3 左を見ると、作用させる回転角が大きくなるほど大変形時に復元力が小さくなっており、図 4 右は逆の傾向となる。これより回転変形が支承の履歴性状に影響を与えていることが分かる。

図 4 に水平変位 0mm 、 90mm （せん断ひずみ 170% ）を繰返し载荷し、回転角を $0, 1/150, 1/75\text{rad}$ を繰返し载荷した場合の積層ゴム頂部に生じた最大回転量を示す。水平変位を加えない場合（図 4 左）には、回転機構の無い場合には回転変形と支承の回転変形は同じとなるが、回転機構を有している場合には支承はほとんど変形していないことが分かる。一方水平変位を加えた場合（図 4 右）、一次形状係数の値により大小はあるものの、回転機構を有する場合は強制回転角に関わらずゴム支承は比較的大きな回転量を示している。これは上端に回転機構をつけた場合、積層ゴムは片持ち梁状態となるため、水平変位に従って上部が回転することに起因する。

キーワード 免震支承, 回転機構, 回転変形, 復元力特性, 载荷実験

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 TEL 0774-38-4065

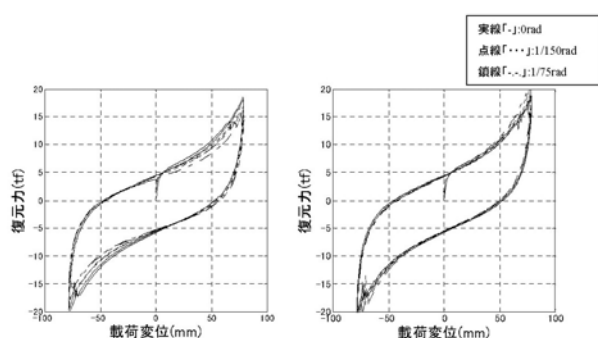


図3 S8の履歴復元力関係（载荷パターン A,B）

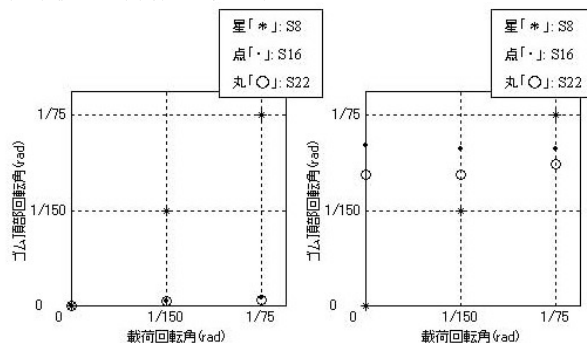


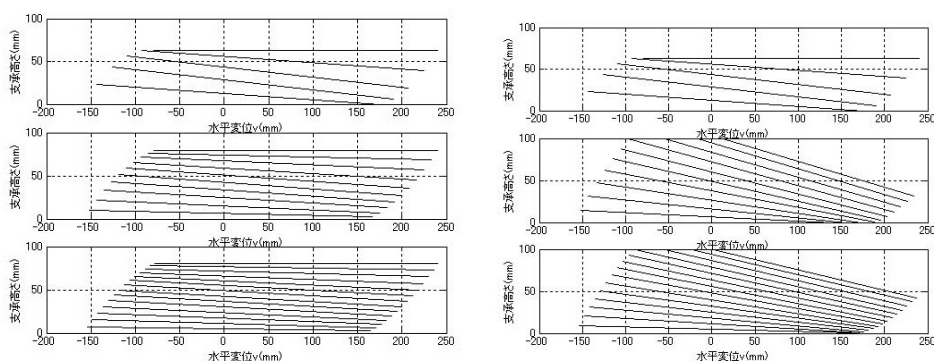
図4 最大回転量（水平変位 左：0 mm，右：90mm）

5. 解析的検討

片持ち梁状態となることにより、支承内部のゴム層は従来の支承と異なる変形状態となることが考えられる。そこで積層ゴムを上下面が拘束された弾性体と考え、線形弾性理論を用いることにより、支承変形に関する解析的検討を実施した。Haringx は積層ゴムの水平剛性は弾性体に水平力と圧縮力が作用する場合の座屈問題の解として導出した。ここでは積層ゴムはゴム層と鋼板の積層構造であるため、これを等価な曲げせん断梁に置換した。本モデルでは梁の断面は平面を保持するものの中立軸に対して垂直ではないため、鋼板の支承内部での回転を表現することができる。この理論を境界条件のもとで解くことにより、次式のように下部から高さ x の位置における中立軸の水平変位 v と鋼板の回転角 ϕ を得ることができる。

$$v(x) = A \cos \alpha x + B \sin \alpha x - \frac{M_0}{P} - \frac{H_0}{P} x, \quad \phi(x) = \alpha \beta B \cos \alpha x - \alpha \beta A \sin \alpha x - \frac{H_0}{P}$$

ここで α 、 β は曲げ・せん断弾性係数、断面積および圧縮力 P を用いた定数、 M_0 、 H_0 は端部における曲げモーメント、水平力である。従来の支承は、境界条件 $v(0)=0$ 、 $\phi(0)=0$ 、 $\phi(h)=0$ 、 $H_0=-F$ のもとで上式を解き、回転機構を付加した積層ゴム支承は境界条件 $v(0)=0$ 、 $\phi(0)=0$ 、 $M(h)=0$ 、 $H_0=-F$ のもとで解けばよい。図5は上式を解いて得られた結果より求められた積層ゴムの変形状態である。片持ち梁状態の場合、左側基部での引張応力が両端固定状態よりも大きいことが読み取れ、最下層ゴムの引張応力の検討が必要であることが分かる。



a) 両端固定状態 b) 片持ち梁状態
図5 積層ゴムの変形状態（上より S8,S16,S22, 鉛直方向を 50 倍に拡大）

6. まとめ

回転変形のための正負交番载荷実験の結果より、常時に活荷重によって生じる回転角に対し、回転機構を付加した積層ゴム支承は十分な回転吸収性能を有していることが確認できた。また回転機構を付加した積層ゴム支承は大きな水平変形を载荷すると、履歴復元力特性には大きな影響はないものの、回転機構部がピン構造として機能するためその変形状態は片持ち梁となり、結果、積層ゴム上部に回転が生じることが明らかになった。また解析によって支承の水平変形だけでなく内部鋼板の回転量・応力の分布に関する関数を導出することができ、これにより片持ち梁状態となる支承でも基部での応力状態を検討することができる。

参考文献

- 川島ら：高減衰ゴム支承の設計における橋脚の回転変形の影響，構造工学論文集，Vol. 48A，2002。
- Haringx, JA：On highly compressible helical springs and rubber rods, and their application for vibration-free mountings, Philips Research Reports, 1948, Vo. 4, pp. 206-220。