

免震ゴム支承の鉛直剛性と常時振動特性との関係に関する一考察

立命館大学理工学部 正会員 ○伊津野 和行
 阪神高速道路公団 正会員 宇野 巧
 フジエンジニアリング 正会員 田中 浩

1. はじめに 阪神・淡路大震災以降、地震に強い橋梁を目指して、多くの免震橋梁が建設されてきた。また、既存橋梁の耐震補強策としても、従来の金属支承からゴム支承への交換が多数実施されてきた。しかし、免震ゴム支承の常時振動特性については、その地震時特性ほど詳細には検討されずに用いられている。金属支承とゴム支承とでは常時荷重に対する挙動や特性が異なるため、支承交換によって振動苦情の内容や発生場所分布が変化することも十分に考えられる。従来は主に、実際に試設計された単一の特性を持つゴム支承について検討がなされており、金属支承との比較例は多いが、ゴム支承の特性が異なることが振動伝播に及ぼす影響について検討された例は少ない。本研究では、支承の鉛直剛性に着目して、それが常時振動特性に及ぼす影響について、荷重伝達率の観点から考察を行った。

2. 支承の鉛直剛性と荷重伝達率との関係

振動工学の基礎式より、強制的な正弦波振動を受ける図1のような物体が、それを支える物に伝える荷重伝達率は、外力の振動数 f と固有振動数 f_0 との比の関数になる。これを図示すると図2のようになる。図中の h は減衰定数である。

機械の防振では f/f_0 を $\sqrt{2}$ 以上にするが、橋梁振動は機械振動とは異なり広帯域の不規則振動のため、なかなかその領域に持って行きにくい状況がある。交通振動の卓越振動数は桁で数Hz～数十Hzのため、それより低い鉛直固有振動数にするためには、固有周期が何秒という鉛直免震（振）を考えなければならない。例えば、たわみ1次の固有振動数が3Hzの桁を防振するため、支承の鉛直固有振動数を2Hzにすることを考えると、死荷重に対する静的変位だけで6.3cmにもなる。さらに外力振動数と共振する場合には、 $h=0.1$ としても動的応答倍率は $1/2h=5$ で、最大応答は30cmにもなり実現には工夫が必要である。

そのため、グラフの右の方の防振領域（荷重伝達率が1未満の領域）ではなく、左の方に近づけるのが次善の策となる。交通振動の場合、外力の振動数 f は決まった値ではないが、支承の鉛直剛性を上げて行けば固有振動数 f_0 は大きくなり、 f/f_0 が小さくなる可能性が高い。したがって、グラフの左の方になって、荷重伝達率が1に近づく。疑似支承を用いて活荷重を支えるという橋梁振動対策¹⁾は、この考えに基づくものだと言える。

逆に鉛直剛性が低いとグラフの f/f_0 が1付近の荷重伝達率が大きくなる領域になりやすく、交通振動をよく伝える可能性が高くなる。このことから言えば、鉛直剛性はなるべく大きくし、できれば減衰を大きくするということが望ましいことになる。

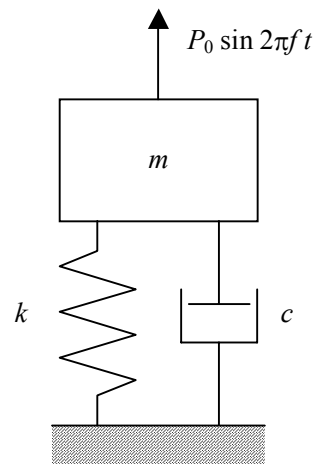


図1 強制振動を受ける物体

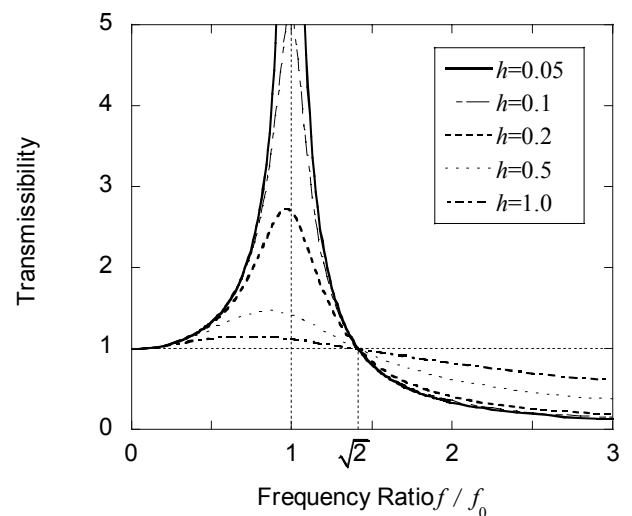


図2 荷重伝達率

キーワード 免震支承、橋梁、交通振動、荷重伝達率、鉛直剛性

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 TEL./FAX. 077-561-2728

表1 各種積層ゴム支承の諸元

モデル名	17-1	17-2	17-3	12-3	12-5	12-7	10-5	10-8	10-11
一次形状係数	5.9			8.3			10.0		
一層厚(mm)	17			12			10		
層数	1	2	3	3	5	7	5	8	11
鉛直ばね定数(MN/m)	2128	1064	710	2003	1202	858	2073	1296	942

3. 積層ゴム支承の鉛直剛性

次に、一般に用いられている積層ゴム支承の鉛直剛性がどの程度なのか、鉛直剛性算定式をもとに検討した。使用ゴムは天然ゴム、せん断弾性率 $G=1\text{MPa}$ 、平面形状 $\square 400\text{mm}$ 、最大反力 1250kN とし、一次形状係数を 6~10 程度の 3 種類設定した。ゴム層数は、回転角 $1/150$ の規定を満足するよう多いものと少ないものを 3 種類ずつ考えた。各モデルの諸元を表 1 に示す。モデル名称 17-1 は、層厚 17mm の 1 層モデルという意味である。これらに対し、従来から橋梁のゴム支承に対して用いられている服部・武井式²⁾から鉛直剛性を算定した。一次形状係数および層数によって縦弾性係数が変化するという式である。これらのゴム支承が最大反力を受けた場合の鉛直方向固有振動数を計算したものを、図 3 に示す。

一次形状係数および層数によって違いはあるが、いずれも $10\sim 20\text{Hz}$ という振動数領域にある。これは、交通振動にも多く含まれる振動数領域であり、支承によってそれが増幅される可能性も高い。同じ設計条件を満足する支承であっても、鉛直方向の固有振動数はある程度違うものを選定することが可能であることから、免震ゴム支承の常時荷重に対する挙動を十分に検討した上で支承選定を行うことが重要である。

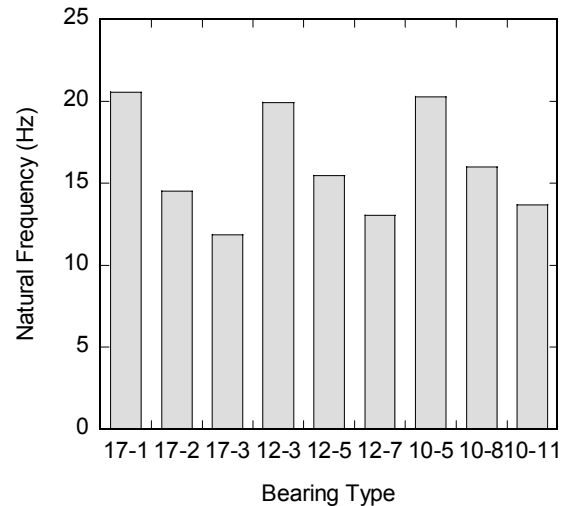


図3 積層ゴム支承の鉛直方向固有振動数

4. 鉛直剛性の増加による交通振動低減の可能性

以上の考察を受け、常時振動特性の改善を目的とした支承交換について検討した。死荷重を 450kN 、死荷重+活荷重を 1MN と想定し、鉛直剛性が 550MN/m の免震ゴム支承 A を、 950MN/m の支承 B に交換した場合の常時振動特性の変化について試算する。死荷重(D)あるいは死荷重+活荷重(D+L)が載荷された場合の、支承部鉛直方向固有振動数を計算すると、支承 A の場合 $11\sim 17\text{Hz}$ 、支承 B の場合 $16\sim 24\text{Hz}$ が鉛直方向の固有振動数となる。これを図示すると、図 4 のようになる。よって、図 2 の荷重伝達率より、それぞれの支承に対してこの振動数領域の加振があった場合には、荷重伝達率が高くなることが予想される。

支承 A と B との比較では、支承 B に交換することによって、支承 A よりも固有振動数を高めることになる。荷重伝達率という観点から支承交換について考えると、図 2 の f/f_0 を小さくすることができ、ある程度の効果は望めると考えられる。荷重伝達率の観点からは、回転性能を確保した上でなるべく鉛直剛性の高い支承にすることが、常時の交通振動に対しては有利だと考えられる。積層ゴム支承では、ゴム 1 層あたりの厚さを薄くして、一次形状係数を大きくする等の対策が考えられる。すべり摩擦型免震支承のように、許容支圧応力の高い荷重支持機能をもった支承の採用も、選択肢の一つとして考えられる。

今後は、支承の鉛直方向微小振動に対する減衰性能の評価や、微小変形に対する伝達関数の評価なども必要になるものと考えられる。

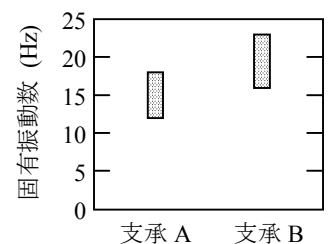


図4 固有振動数の範囲

参考文献: 1) 宇野, 中野, 田中: 都市高速道路における新しい橋梁振動対策の効果について, 土木学会第 57 回年次学術講演会, I-575, 2002 年 9 月. 2) 服部, 武井: 圧縮ゴム座のバネ定数に就て, 日本ゴム協会誌, 第 23 巻第 7 号, pp. 194-198, 1951 年.