

I-77 橋脚の剛性を考慮した鋼製免震支承の慣性力低減効果に関する一実験

(株)日本製鋼所 室蘭製作所 正員 別所 俊彦
(財)北海道道路管理技術センター 正員 小山田 欣裕
北海道開発局 開発土木研究所 正員 中井 健司
北海道開発局 開発土木研究所 正員 佐藤 昌志

1. はじめに

橋梁において免震化を図るための装置として、特に寒冷地での適用を考える時、温度依存性を議論することなく使用できる装置が有用と考えられる。著者らは、この見地から幾何学的特性を利用して復元特性を発揮させ、減衰については相対移動に伴う摺動摩擦力によるという両機能を備えた装置を考案し、単一要素の性能試験を実施してきた。本来、橋梁における免震装置の役割は、橋脚と連成させて上部構造物を支えることにより橋脚頂部の相対変位量を低減させ、基部に発生する断面力の低下を図ることにあると考えている。一般にバネ K_1 で地面に支持されている構造物 M_1 が強制周期力を受ける時、これによる応答振幅を低下させるために付加質量 M_2 とバネ K_2 からなる動吸振器が用いられる。しかし、これだけでは限られた振動数にだけの対応となってしまうので、適用振動数に幅を持たせる場合にはバネ K_2 の他にダンパー C が併用される。¹⁾ これは2質点系の振動問題であり、橋梁の構造系でそれぞれを表せば M_1 が橋脚頂部質量、 K_1 は橋脚剛性、 M_2 は上部構造物質量、バネ K_2 と C は免震装置性能となる。²⁾ 本報告ではこれらの役割を意識して橋脚剛性を付与して強制変位させた時の構造物の応答挙動について報告する。

2. 免震装置

本実験で用いた免震装置の構造図を図-1に示す。装置の構成は、同形状の上沓と下沓、そしてこの間に挟まれる回転板からなり、曲率半径球 $R=250$ mmの曲面で接触している。回転板の厚みは $t=150$ mmであり、曲率半径 R の0.6倍としている。接触面の上・下沓側には表-1の特性を有する純PTFE柱を埋込み、回転板はステンレス(SUS304)製とし表面を滑らかに仕上げて面の粗度による摩擦力の発生を防いでいる。

表-1 純PTFEの特性値

比 重	引 張 強 度	伸 び	圧 縮 クリープ 永 久 変 形 率 140kg/cm ²	7.65kg/cm ² , 0.5m/s 摩 耗 量 8 hr 3×10 ⁻² cm ³ ・sec /kg・m・hr	動摩擦係数
2.17	360kg/cm ²	330 %	7.1 % (24 hr.)		0.15

原理としては式(1)に示すように上沓と下沓の相対変位 U と装置が支えている上部構造の死荷重分担力(鉛直反力 V)とにより復元力 H が表現される。式中の α 、 ρ はそれぞれ回転板回転角及び摩擦角である。

$$H = V \cdot \tan(\alpha \pm \rho) \quad (1)$$

±: 回転板の回転方向により正、負を使い分ける

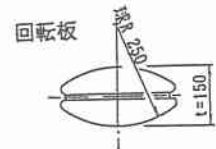
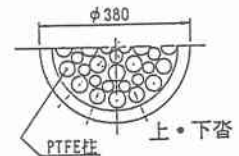
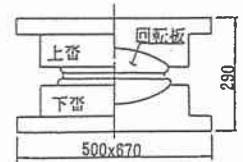


図-1 免震装置

Experiment of the reduction effects of inertia force using the steel type seismic-isolation device in consideration of the pier stiffness
by Toshihiko BESSHO, Yoshihiro OYAMADA, Kenji NAKAI and Masashi SATOH

3. 実験の概要

3.1 実験装置

本実験に使用した装置は、図-2に示すように上部構造部、支承部（免震装置・ローラー）、橋脚剛性を模擬するバネを挿入したバネケース、振動台、加振機とから構成されている。振動台は床面とリニアウェイ（ボールベアリング使用の直動摺動システム）を介して案内されており、摩擦の発生による加振機の負荷を軽減させると共に、移動の安定化を図っている。加振機には22Kwの三相交流電動機を用いてインバータ運転し、100rpmまでの可変制御を可能としている。電動機の回転軸には振幅を設定するため4種類（30、40、50、60 mm）の偏心孔を設けたクランクアームを取付けている。

支承は、一方に免震装置、他方はφ50mmのローラーを用い、それぞれ2点ずつ分担している。免震装置の下沓の下面にはキャスターが取付けられており、振動台上で振動方向に可動としている。しかし、下沓の動きはロッドを介して振動台に設置されているバネケースのバネと連成され抵抗を受ける。

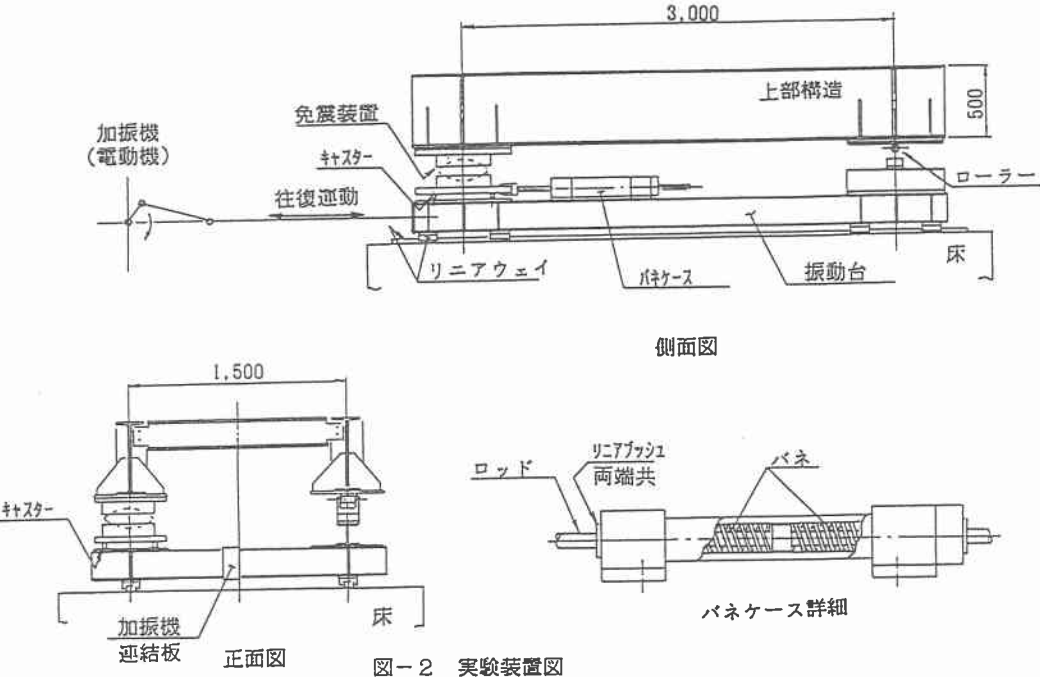


図-2 実験装置図

3.2 実験方法および実験条件

実験では電動機の回転をクランクによって往復運動に変え、振動台を強制的に揺すり、上部構造と下沓の挙動を変位計と加速度計により1/100secの時間間隔で記録した。1試験当りに採取したデータは20%以上である。表-2に計測項目、表-3に実験条件をそれぞれ示す。

表-2 計測項目

	絶対加速度	振動台と下沓の相対変位	絶対変位	加振力
上部構造	○	○	—	—
下沓	—	○	—	—
振動台	—	—	○	○

表-3 実験条件

バネ剛性	強制変位振幅	強制変位周波数
15.0 t/m	0.03、0.04、0.05、0.06 m	0.3 ~ 1.6 Hz まで0.1Hz 毎

4. 実験結果および考察

4.1 実験結果

試験結果を以下に示す。結果は強制変位振幅 60 mm、周波数 0.5、1.0、1.5 Hz について代表して示す。計測は振動台に対する上部構造の相対変位と下沓の相対変位としているが振動台の変位を用いて絶対変位も示している。

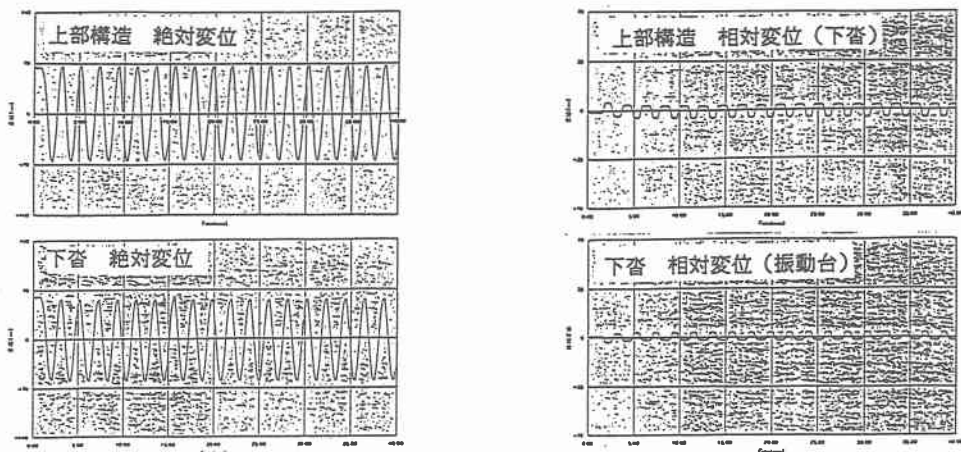


図-3 実験結果 ($\pm 60\text{mm}$ 、0.5 Hz)

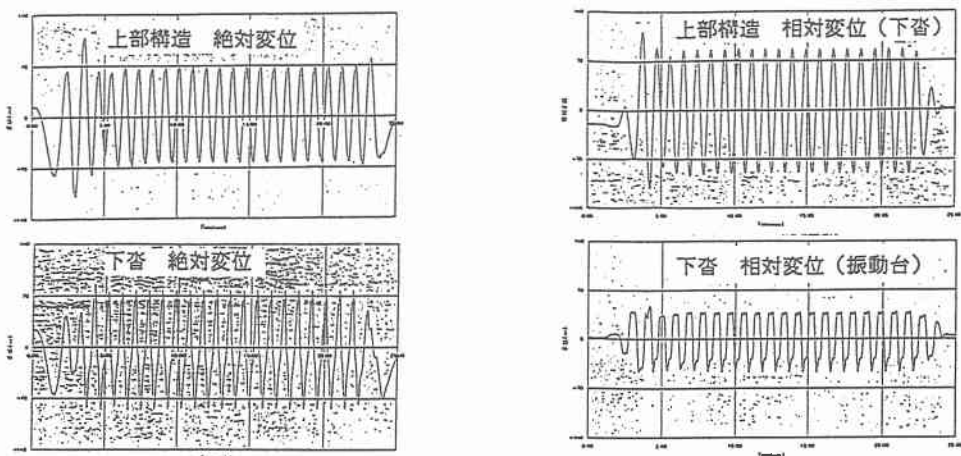


図-4 実験結果 ($\pm 60\text{mm}$ 、1.0 Hz)

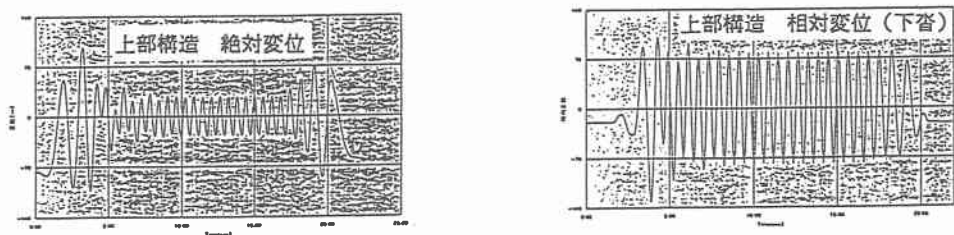


図-5 実験結果 ($\pm 60\text{mm}$ 、1.5 Hz) その1

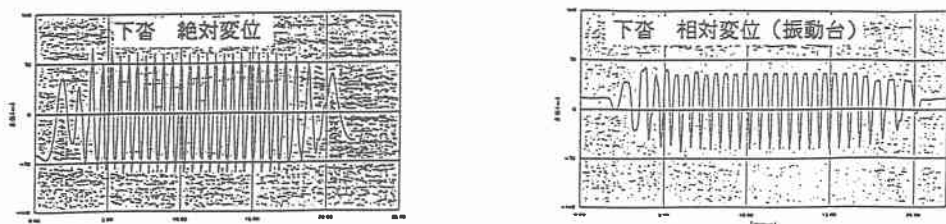


図-5 実験結果 ($\pm 60\text{mm}$, 1.5 Hz) その2

4.2 考察

本実験において、上部構造質量 $M_2 = 1,400 \text{ kg}$ 、免震装置の鉛直反力 $V = 8,291 \text{ N}$ 、下沓質量 $M_1 = 500 \text{ kg}$ 、橋脚剛性 $K_1 = 14,700 \text{ N/m}$ であり、図-6に示す2質点系のモデルの問題となる。

$$y_1'' - \varepsilon \times \tan(\alpha \pm \rho) + P^2 \times y_1 = -f'' \quad (2)$$

$$y_2'' + (\varepsilon / \beta) \times \tan(\alpha \pm \rho) = -f''$$

$$y_2' - y_1' \geq 0 \text{ の時 } \alpha + \rho$$

$$< 0 \text{ の時 } \alpha - \rho$$

$$\sin \alpha = (y_2 - y_1) / L \quad [L = 0.35 \text{ m}] ; y_1 = x_1 - f ; y_2 = x_2 - f$$

$$\beta = M_2 / M_1 ; \varepsilon = V / M_1 ; P^2 = K_1 / M_1$$

免震装置が無い場合は、上部構造と下沓が一体化して式(3)で求まる。

$$y_1'' + \{P^2 / (1 + \beta)\} \times y_1 = -f'' \quad (3)$$

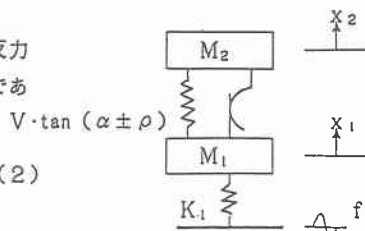


図-6 解析モデル

実験の結果により以下のことが得られた。

- ① 低い周波数の時には、免震装置は機能せずに、0.5Hz から動き始める。
- ② 一体化した時の共振周波数0.44 Hz および 下沓単独の共振周波数0.86 Hz に対しても相対変位の応答倍率は大きくならず広い範囲で免震の効果が得られている。
- ③ 上部構造の下沓に対する相対変位の応答は、0.8Hz 以上の周波数では強制変位振幅の大きさによらず変位振幅の1.34~1.40倍におさまる使用上の範囲を越えない。
- ④ バネの効き具合が行く方向と戻り方向で若干の違いが出ているが実用上を考えると大きな問題とは考えていない。

参考文献

- 1) 斎藤秀雄；工業基礎振動学，養賢堂
- 2) 阿部雅人，藤野陽三，Paolo GARDONI；橋梁の耐震性向上のための支承の最適設計，第1回免震・制震コロキウム講演論文集、平成8年11月
- 3) 小山田欣裕，佐藤昌志，谷本俊充，別所俊彦；幾何学特性を利用した免震装置の開発，第1回免震・制震コロキウム講演論文集、平成8年11月
- 4) 官民連帯共同研究；道路橋の免震構造システムの開発報告書，建設省、平成4年10月
- 5) 中野 修，谷口秀之，小野祐二，山内敏夫；免震橋梁の動的挙動に関する温度の影響，土木学会北海道支部論文報告集 第48号、平成4年2月