

水平二方向入力を受ける摩擦振子型免震機構付 RC 橋脚の震動実験

早稲田大学 学生会員 ○服部 琳太郎, 石橋 寛樹

早稲田大学 正会員 秋山 充良, 日本工営(株) 正会員 石垣直光

1. はじめに

著者らが過去に提案した摩擦振子型免震機構を有する橋脚は、**図-1**に示すように、その中間部に滑り曲面を設け、その位置より上にある部位を摩擦振子として滑らせることで、滑り曲面位置より下部に伝達される地震時慣性力の低減を目的とした構造である^{1),2)}。これまでの震動実験により、現行の耐震設計基準に示されるレベル2地震動を上回る作用に対しても本橋梁は無損傷状態を維持し、地震後の即時の供用再開が可能であることを確認している。一方で、既往の研究では、橋軸一方向、あるいは橋軸一方向+鉛直動の同時入力に対する震動実験しか行われていない²⁾。本研究では、橋軸方向と橋軸直角方向の水平二方向地震動を与える震動実験を実施し、特に橋軸直角方向入力が本機構を有する橋梁の地震時応答に及ぼす影響を実験的に評価する。

2. 実験概要

供試体の滑り曲面形状を**表-1**に示す。また、供試体の震動台への設置状況を**写真-1**に示す。本実験では、橋脚高さ10mの実橋梁を想定し、震動台の寸法および加震能力から相似比を33に設定することで供試体を設計した。設計の際、加速度および橋脚の躯体に作用する面圧の相似比を1.0にした。供試体は、上部工、橋台、滑り曲面を有する橋脚、および摩擦振子部材から構成される。上部工重量は750kgfで、摩擦振子に作用する常時の軸力は約1.84kNである。摩擦振子は上部工と一体となり挙動するように剛結されており、滑り曲面との接触部は半径25mmの半円となっている。

RC橋脚は、せん断スパン比4.7、軸方向鉄筋比2.65%であり、曲げ破壊型となるように帯鉄筋を配筋している。**表-1**に示すように滑り曲面は半径80mmの円弧で、荷重 Q を超えると滑り出す構造になっている。なお、実験供試体の滑り発生後の固有周期は供試体スケールで約0.567秒、実橋スケールで約3.26秒である。本実験には、2つの地震波を用意した。短周期波としては、1995年兵庫県南部地震の際に兵庫県神戸市中央区で観測された地震波を用いた。長周期波としては、2003年十勝沖地震の際に北海道釧路町で観測された地震波の加速度振幅を1.75倍し、さらに長周期波とするため時間調整した波を用いた。

両地震動の加速度応答スペクトルを**図-2**に示す。**図-2**には、道路橋示方書のレベル2地震動タイプII(I種地盤)の加速度応答スペクトルも比較のために示している。

3. 実験結果

震動実験を行う際には、短周期波と長周期波のどちらを入力する場合にも、橋軸方向の地震動の加速度振幅倍率を一定にしたまま、橋軸直角方向の地震動の加速度振幅倍率を変化させることで、橋軸直角方向の地震力の大きさが提案橋梁の地震応答特性に与える影響を評価した。

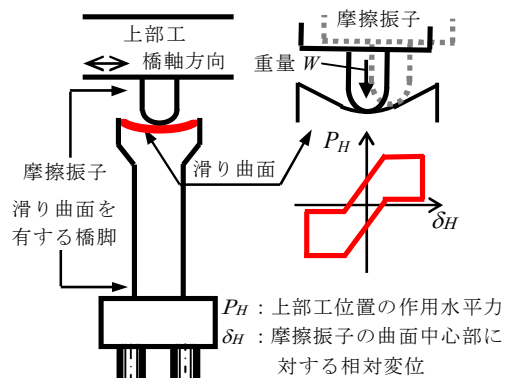
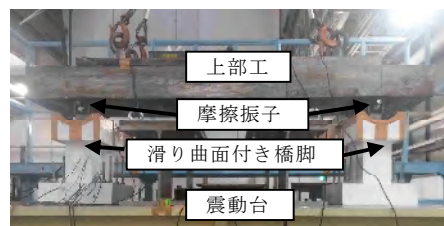


図-1 摩擦振子型免震機構付橋脚

表-1 供試体諸元

滑り曲面形状	荷重-変位関係
円弧 (半径 $R = 80\text{mm}$)	



(a) 橋軸直角方向



(b) 橋軸方向

写真-1 供試体設置状況

キーワード 摩擦振子, 震動実験, 長周期構造, 橋梁, 免震機構

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部社会環境工学科 Tel: 03-5286-2694

図-3 に各地震動入力に対する橋軸方向の水平荷重-水平変位関係を示す。図には、上部工重量、摩擦係数および曲面形状から力の釣り合いにより計算される骨格曲線も示している。その計算の際、摩擦係数の速度依存性は考慮せず、実験値より同定された摩擦係数(約 0.397)を用いた。図-3 より、橋軸直角方向の地震動を入力しても、橋軸方向における水平荷重-水平変位関係は長周期波、あるいは短周期波のどちらの場合でも大きな影響を受けていないことが確認される。

短周期波の橋軸直角方向地震動の加速度の振幅倍率を 200%にした場合は、振幅倍率が 150%より小さい場合と比較して、骨格曲線と実験値との乖離が大きくなっている。この理由は、計算では、提案橋梁が地震動を受け、上部工が滑り曲面上を運動し始めた後、滑り曲面と摩擦振子の接触状態は一体であり、滑らかに運動することを想定しているのに対し、震動実験

では、一部の橋脚上で摩擦振子が滑り曲面から浮き上がるなど、上部工がばたつく挙動を示したことにある。骨格曲線は水平方向の力の釣り合いのみで求めており、上部工のばたつきにより鉛直方向に挙動した影響で、実験値と骨格曲線間に大きな乖離が生じたと考えられる。上部工がばたつた原因としては、表-1 の滑り曲面の形状に示すように、本実験では、半径一定の定曲面タイプの滑り曲面を使用しているため、水平方向に大きな変位が発生すると、上部工は初期状態に対して鉛直方向に大きく移動する。さらに橋軸直角方向に慣性力を受けたとき、初期不正などの影響により、4 つの RC 橋脚の滑り曲面上での鉛直変位の大きさが位置ごとに異なることで、上部工のばたつきが生じたと思われる。対策としては、滑り曲面を変動曲面として鉛直方向への移動量を抑えるなどの工夫が必要である。

次に、図-4 に橋脚基部最大曲げモーメント-橋軸直角方向 PGA 関係を示す。図-4 には橋脚の断面形状より得られる降伏曲げモーメントの値も比較のために示している。図-4 より、最大曲げモーメントの値は降伏曲げモーメントを大きく下回っていることが確認できる。図-2 に示すように、実験で用いた入力地震動は設計地震動と比較して非常に大きいですが、このような地震動に対しても摩擦振子型免震機構を有する橋脚は弾性応答することが確認できた。

4. まとめ

本研究では、橋軸方向と橋軸直角方向の水平二方向入力を与える震動実験により、特に橋軸直角方向から入力する地震動の大きさが摩擦振子型免震機構を有する橋梁の地震応答特性に及ぼす影響を実験的に評価した。本実験で観察されたような上部工のばたつきを抑える工夫や、また、提案橋梁の耐震性能を数値解析により評価できるような検討も今後必要である。

参考文献 1) 金井晴弘, 阿部遼太, 青木直, 秋山充良: 変動曲面上を滑る摩擦振子を有するコンクリート橋脚の地震応答特性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp.817-822, 2012. 2) 石橋寛樹, 金井晴弘, 秋山充良, 小野潔, 坂柳皓文: 水平動と鉛直動を同時に受ける摩擦振子型免震機構付き鋼製橋脚の振動実験, 土木学会第 69 回年次学術講演会, pp.127-128, 2014.

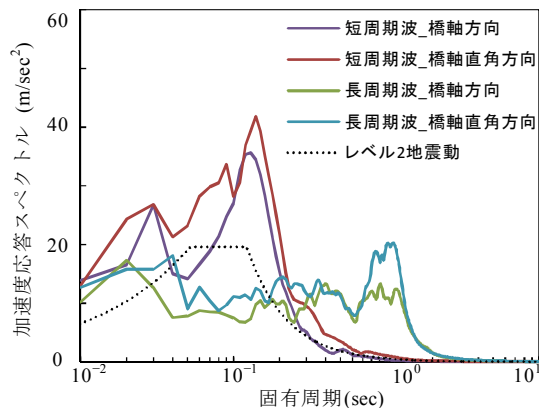


図-2 加速度応答スペクトル

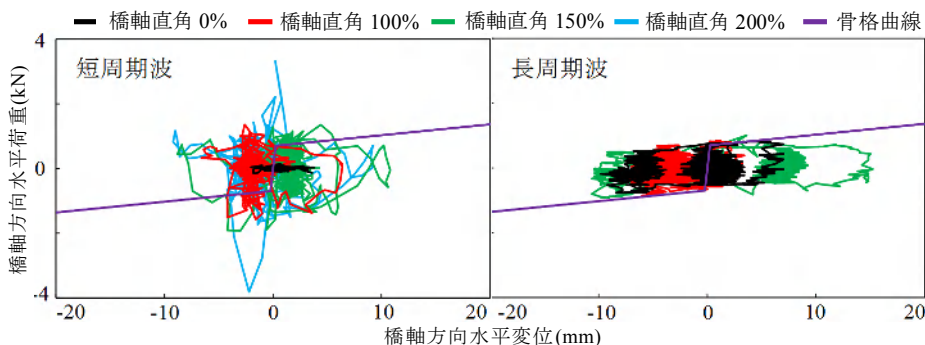


図-3 橋軸方向の水平荷重-水平変位関係

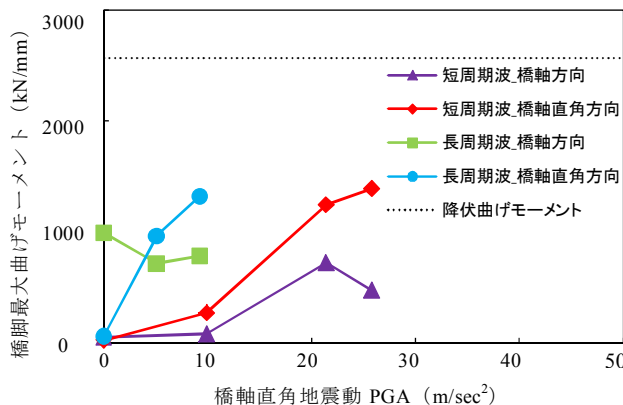


図-4 橋脚最大曲げモーメント - 橋軸直角方向 PGA 関係