

滑り性能を改善した摩擦振子型免震機構付き橋梁構造の 水平二方向震動実験

早稲田大学 学生会員 ○脊戸 鉄太, 服部 琳太郎, 石橋 寛樹
日本工営(株) 正会員 石垣直光, 末崎将司 早稲田大学 正会員 秋山 充良

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を低減することを目的とした構造である¹⁾。これまでの震動実験により、本橋梁が高い耐震性能を有することを確認している。

一方、過去の水平二方向入力震動実験²⁾において、上部工の浮き上がりやがたつきが確認され、想定以上の水平荷重が記録されている。本研究では滑り曲面の形状と配置を変更することで、摩擦振子の滑り性能の改善を図り、震動実験によりその動きを検証した。さらに、数値解析により実験結果の再現を試みた。

2. 概要

供試体諸元を図-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。供試体は、上部工(鉄の錘)、滑り曲面を有する橋脚、および摩擦振子から構成される。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、橋脚高さは100mm、断面は150×150mmのRC構造となっている。

図-2に滑り曲面の形状を示す。曲面一直線では、摩擦振子に生じる水平変位が D_v 以下では円弧、 D_v 以上では直線とした。また、曲面一曲面では、滑り出しの挙動を安定させるため、摩擦振子に生じる水平変位が D_v 以下では半径200mmの曲面にして勾配を緩やかにし、 D_v 以上では半径80mmの曲面とした。

図-3に滑り曲面の配置を示す。パターン1では橋軸直角方向に異なる向きの滑り曲面を有する配置、パターン2では橋軸直角方向に同じ向きの滑り曲面を有する配置とした。

震動実験には、短周期波として、1995年兵庫県南部地震の際に神戸市中央区中山手で観測された地震波、長周期波として、2003年十勝沖地震の際に北海道釧路町別保で観測された地震波を用いた。なお、長周期波は、長周期成分をより卓越させるため、観測波の時間間隔を調整している。図-4に、短周期波と長周期波の加速度応答スペクトルを道路橋示方書のレベル2地震動タイプII(I種地盤)とともに示す。

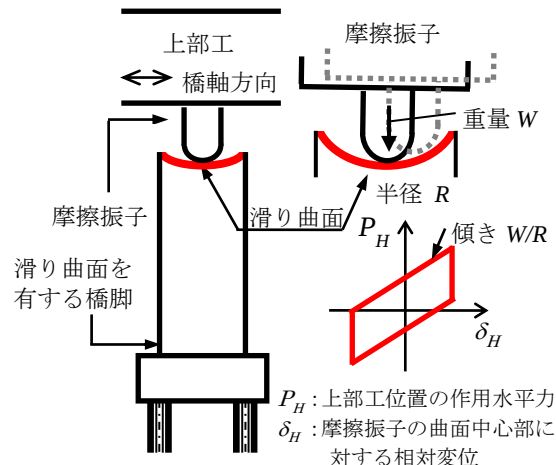


図-1 摩擦振子型免震機構付き橋脚

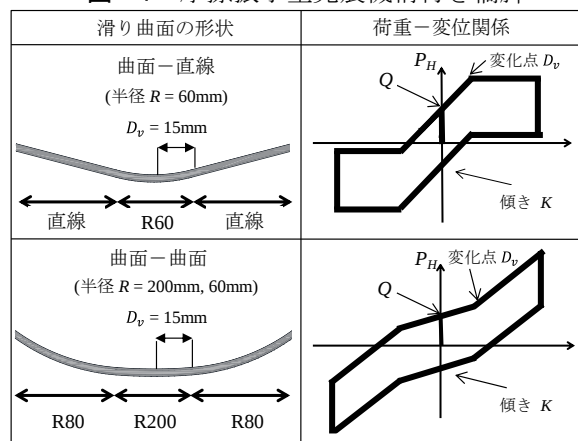


図-2 滑り曲面の形

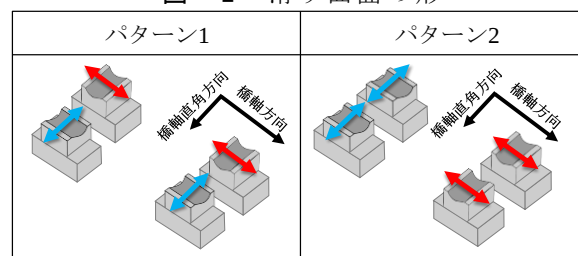


図-3 滑り曲面の配置

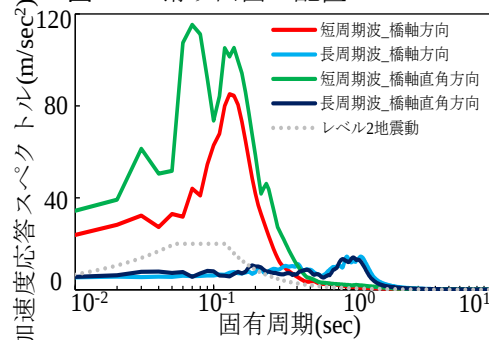


図-4 加速度応答スペクトル

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

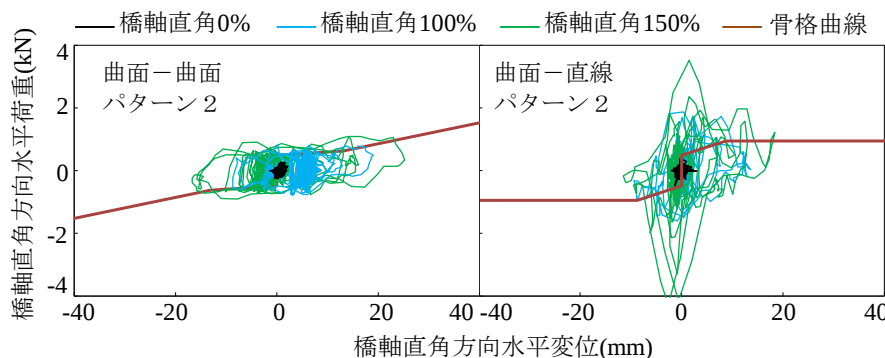


図-5 水平荷重-水平変位関係

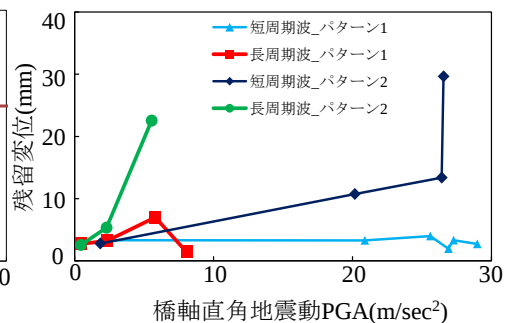


図-6 残留変位-橋軸直角 PGA 関係

3. 実験・解析結果

摩擦振子型免震機構付き RC 橋脚を用いた水平二方向震動実験を行い、滑り曲面の形状と滑り曲面の配置が地震応答特性に与える影響を評価した。実験は、橋軸方向の地震動を一定とし、橋軸直角方向に入力する地震動の振幅を徐々に大きくすることで、二方向入力の影響を観察した。図-5 に、パターン 2 の配置で短周期波を入力したときの各滑り曲面の水平荷重-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計算される骨格曲線も示している。橋軸方向の地震動の加速度振幅を 200% に固定し、橋軸直角方向の入力地震動を大きくしていくと、曲面-直線と比較して、曲面-曲面の滑り曲面を用いた場合には、摩擦振子は骨格曲線に従った挙動をしていることが確認される。この原因として、曲面-曲面では中心位置の半径が大きいため、アップリフト量が低減でき、上部工に生じるがたつきや浮き上がりが抑制されたと推察される。

図-6 には、橋軸直角方向に入力した地震動の最大加速度 (PGA) と残留変位の関係を示す。滑り曲面の配置がパターン 2 のとき、橋軸直角方向から入力される地震動が大きくなるにしたがって、残留変位も大きくなる。これはパターン 2 で上部工が橋軸直角方向に滑るとき、橋軸上の片側は平面、もう片側は滑り曲面となるため、上部工に回転が生じ、結果として残留変位が過大になったと考えられる。

摩擦振子は質点に置換でき、その地震時挙動は水平方向の力の釣り合いから計算される骨格曲線に従うと仮定した 3 次元動的解析の結果を図-7 に示す。数値積分法には Newmark の β 法を使用し、減衰は数値減衰のみを考慮した。参考文献 1) や 2) の解析モデルを基本として、実験時に観察された衝突の影響、および摩擦係数の速度依存性を考慮している。解析結果は実験結果を概ね再現していることが確認される。

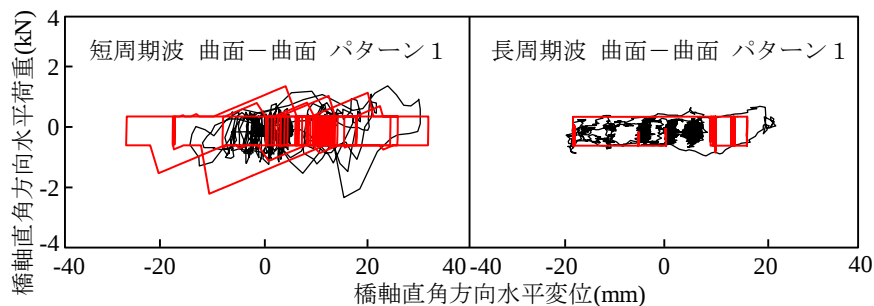


図-7 水平荷重-水平変位関係(再現解析)

4. まとめ

滑り曲面の形状と配置の工夫により、滑り性能が改善され、残留変位が抑制されることを震動実験により確認した。このような工夫により、塑性ヒンジを柱基部に誘導し、その箇所での地震エネルギーの吸収を前提とした従来の RC 構造と異なり、摩擦振子部での滑りのみにより地震力を低減するダメージフリー構造が可能になる。また、衝突の影響や摩擦係数の速度依存性を考慮した数値解析により、本構造の地震時挙動を概ね再現できることを示した。

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) 服部琳太郎, 石橋寛樹, 石塚直光, 秋山充良: 摩擦振子型免震機構付き RC 橋脚を持つ橋梁の水平二方向地震動に対する地震応答特性, 第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.73-76, 2015