滑り曲面の球面化による摩擦振子型免震機構付き橋梁の 地震応答性状の改善の試み

早稻田大学 学生会員 〇市川 義高, 脊戸 鉄太, 服部 琳太朗 早稲田大学 正会員 秋山 充良 日本工営(株)正会員 石垣直光,末崎将司

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、その位置より上部を摩擦 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の震動実験²⁾においては,滑り曲面の形 状によっては上部工が滑らかに運動せず,鉛直方向にばたつき,想定を 上回る水平荷重が滑り曲面下部の部材に伝達されていた.本研究では, 摩擦振子および滑り曲面を球面化することにより,摩擦振子の滑り性能 の改善を試み、震動実験によりその動きを検証する.

2. 震動実験の概要

供試体諸元を図-1 に示す. 本実験では, 橋脚高さ 10 m 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150 mm、断面は106 mm×106 mm のRC構造となっている.

図-2 に滑り曲面の形状を示す.本研究では滑り性能の改善を図るた めに写真-1 に示すように球面状滑り曲面を用いた.既往の実験と比較 するために、滑り曲面の勾配が急となる半径 80 mm の曲面と、勾配が緩 やかである半径 200 mm の曲面の2 種類を用いて震動実験を行った.

震動実験には、それぞれ成分の異なる短周期波を2波、長周期波を2 波の計4種の地震動を用いた.短周期波については、第1波として1995 年兵庫県南部地震の際に兵庫県神戸中央区中山手で観測された地震波 と,第3波として2007年能登半島地震の際に石川県輪島市鳳至町で観測 された地震波の2波を用いる.長周期波については,第2波として2003年 +勝沖地震の際に北海道釧路町別保で観測された地震波と,第4波として 1993 年北海道南西沖地震の際に北海道稚内市開運で観測された地震波 の2波を用いる.なお、十勝沖地震波は、長周期成分をより卓越させる



半径 R=80mm





ため、観測波の時間間隔を調整している.また、北海道南西沖地震波は、十勝沖地震と加速度応答スペクトルのピ ーク値が等しくなるように加速度を大きくした. 図-3に、実験に使用した地震波の加速度応答スペクトルを、それぞれ の曲面の固有周期,および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とともに示す.

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

3. 実験結果

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、球面状滑り曲面が地震応答特性に与え る影響を評価した.本実験は,橋軸方向の地震動を固定 し、橋軸直角方向に入力する地震動を漸増させること で、水平二方向入力の影響を観察した. 図-4 に、第1 波と第2波を入力した際の水平荷重-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 の加速度振幅を第1波では100%に,第2波では150% に固定し,橋軸直角方向の入力地震動を漸増させてい る. 図-4より、どちらの地震動においても摩擦振子は 骨格曲線に沿って動いており,想定通りの挙動になって いることが確認される. 図-5 に橋軸直角方向地動加速 度(PGA)と、橋軸および橋軸直角方向の橋脚基部に作 用した最大曲げモーメントの関係を示す. 図には断面計 算により求められる降伏曲げモーメントも示している. 橋軸直角方向の PGA が増加したとしても、橋脚基部に 発生する最大曲げモーメントは降伏曲げモーメントを 大きく下回り,非常に高い免震効果が発揮されているこ とが確認される.

図-6には、同一地震動を連続して入力した場合の上 部工軌跡図を示す.載荷終了のたびに、滑り曲面と摩擦 振子を研磨した場合と,研磨しない場合の挙動の比較で ある. 研磨有りの場合は載荷を重ねても上部工の軌跡は 概ね同じであるのに対し、研磨無しの場合は、接触面の 傷が累積し、応答変位が小さくなる.提案構造では、摩 擦振子と滑り曲面の表面状態(摩擦係数)が上部工の挙 動に大きな影響を与える. 図-7は、滑り曲面半径の違 い(C80 と C200)による応答変位の比較である. 滑り



橋軸直角地震動 PGA(m/sec2) 図-7 橋軸直角方向 PGA と上部工橋軸方向最大変位の関係 曲面の形状を考えると、C200はC80に比べて剛性が小さいため、最大滑り変位は大きくなるはずであるが、得られ

た実験結果は、図-7に示されるように、逆の傾向を示した.これは、C80とC200では、摩擦振子と滑り曲面の接 地面積が異なり、摩擦の状態に違いが生じているためと予想されるが、今後、追加実験による検証が必要である. 4.まとめ

摩擦振子型免震機構を橋脚に適用することで、橋脚に作用する地震時慣性力が低減され、高い免震効果が得られ ることを水平二方向入力の震動実験により確認した.滑り曲面を球面化することにより,滑り性能が改善され,長 周期波と短周期波のどちらに対しても橋梁は安定した地震時挙動を示すことが期待できる.なお、繰り返し載荷に 対する滑り曲面の表面状態の劣化防止や長期にわたる滑り性能の確保などは今後の課題である.

謝辞:本研究の一部は,JSPS 科研費 JP16H02357 の助成を受けております.ここに記して謝意を表します.

|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) 脊戸鉄太, 服部琳太朗, 石垣直光, 末崎将司, 秋山充良:滑り曲面の形状と配置が二方向入力を 受ける摩擦振子型免震機構付 RC 柱の地震応答に及ぼす影響,第19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.27-30, 2016.

-486