

臼型摩擦振子および表面強化材の塗布による 摩擦振子型免震機構付き橋梁の地震応答性状の改善

早稲田大学 学生会員 ○山口 大貴, 市川 義高, 脊戸 鉄太 正会員 秋山 充良
日本工営(株) 正会員 石垣直光, 末崎将司 東京大学 正会員 本田 利器

1. はじめに

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系の長周期化を図り、滑り面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。過去に実施した震動実験において、滑りの効果により、本橋梁は既存構造に比べて高い耐震性能を有していることを確認した。一方で、摩擦係数、摩擦振子の先端、あるいは滑り面の形状に本橋梁の地震応答性状は強く依存しており、これまでにそれらの最適な組み合わせを同定するには至っていない。本研究では、新たに臼型形状の摩擦振子を製作し、また、加震中の摩耗に伴う摩擦係数の増加を抑えるためにコンクリート製の滑り面に表面強化材を塗布した上で、提案橋梁の水平二方向震動実験を実施し、これらの効果を確認した。

2. 震動実験の概要

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（鉄の鍾）、滑り面を有する橋脚、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 230 mm、断面は 150 mm × 190 mm の RC 構造となっている。

震動実験には 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を用いた。図-2 に実験に使用した地震波の加速度応答スペクトルを、幾つかの供試体の滑り発生後の固有周期、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。

図-3 に滑り面の形状を示す。本研究ではまず、滑り面形状の相違による挙動の変化を確認するために、複曲面

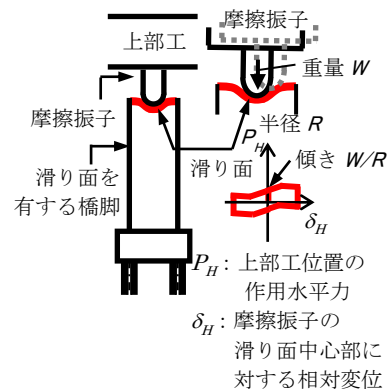


図-1 摩擦振子型免震機構付き橋脚

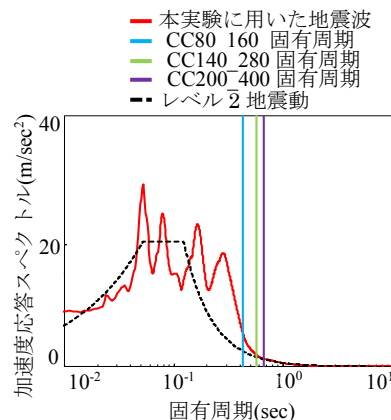


図-2 加速度応答スペクトル

CC80_160	CC140_280	CC200_400	CL80	LL25	LL18	LL11
$R_1=80\text{mm}$ $R_2=160\text{mm}$	$R_1=140\text{mm}$ $R_2=280\text{mm}$	$R_1=200\text{mm}$ $R_2=400\text{mm}$	$R_1=80\text{mm}$ 直線	直線	直線	直線
δ_H 傾き K	δ_H 傾き K	δ_H 傾き K	δ_H 傾き K	δ_H	δ_H	δ_H

図-3 本実験で用いた滑り面形状の一覧

キーワード 摩擦振子, 震動実験, 長周期構造, 橋梁, 免震機構, 表面強化材

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

を採用した球面形状を4種類用いた。また、滑り面と摩擦振子を面接触とすることで面圧を低減した臼型形状を3種類製作し、震動実験を行った。震動実験では、加震に伴うコンクリート面の摩耗による摩擦係数の増加が予想されたため、滑り面の表面にそれを防ぐための表面強化材を塗布した。使用した薬材はケイ酸塩系コンクリート表面強化材、エポキシ樹脂製コンクリート補修材、およびエポキシ樹脂製コンクリート保護材の3種類である（以降それぞれを表面強化材 A、表面強化材 B、表面強化材 C とする）。

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、表面強化材の塗布と滑り面形状が地震応答特性に与える影響を評価した。

CC80_160 の滑り面に3種類の表面強化材を塗布した場合に得られた橋軸方向および橋軸直角方向の水平荷重－水平変位関係を図-4 に示す。また、表面強化材 B と C を用いた供試体に同じ地震波を連続して入力したときの上部工最大滑り変位の変化を図-5 に示した。

図-4 より、表面強化材 B を塗布したときに最も大きな滑り変位が得られ、高い滑り性能（地震作用の遮断効果）が発揮されることを確認した。一方、表面強化材 A は、滑りがほとんど生じず、提案構造に不適であった。図-5 では、表面強化材 B は優れた滑り性能を発揮するとともに、連続の加震に対しても摩耗の影響による変位の減少（摩擦係数の増大）が小さく抑えられていることを確認できる。

次に、表面強化材 B を塗布した場合の全ての震動実験結果から、上部工最大加速度と入力最大地震動（PGA）の比と、残留変位と最大滑り変位の比の関係をまとめたものを図-6 に示す。縦軸は、入力加速度に対して上部工の絶対応答加速度がどの程度低減されているのかを示し、横軸は、最大滑り変位に対して残留変位がどの程度抑制されているのかを表している。縦軸は、安全性に関係する指標となり、横軸は地震後の供用性に関係する指標となる。滑り面がフラットに近くなると、縦軸の値は小さくなり、一方で、形状の違いが横軸の値に及ぼす影響は小さいことが分かる。最終的には安全性と修復性に関する要求の中で、滑り面の形状を決めていくことになる。なお、臼型振子の場合には、線接触のため、自由振動の過程で原点に滑らかに戻る傾向が確認されている。つまり、平面部分の面積を調整することで、球面形状の場合に比べて、残留変位を容易に小さくできる可能性があり、今後の実験の中でその効果を確認したい。

4. まとめ

摩擦振子型免震機構に用いる滑り面や摩擦振子の形状の組合せにより、地震力や残留変位の低減の効果が異なること、エポキシ樹脂製コンクリート補修材を塗布することにより滑り性能が改善され、レベル 2 地震動に相当する地震動が連続して作用する場合にも安定した挙動を示すこと、などを震動台実験により確認した。

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) 市川義高, 服部琳太郎, 脊戸鉄太, 石垣直光, 末崎将司, 秋山充良: 球面上滑り曲面を有する摩擦振子型免震機構付き橋梁の二方向震動実験, 第 20 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.331-334, 2017.

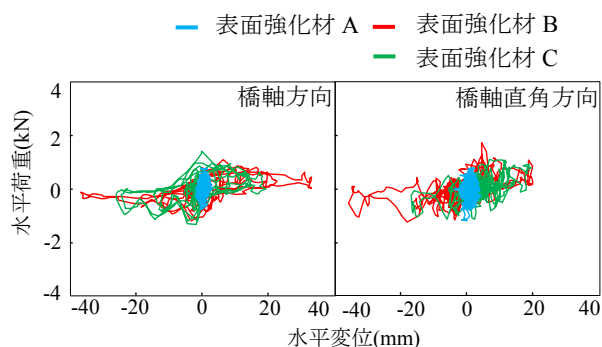


図-4 水平荷重－水平変位関係

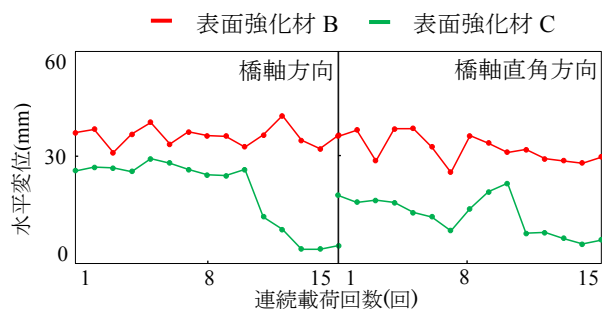


図-5 载荷回数が上部工最大滑り変位に及ぼす影響

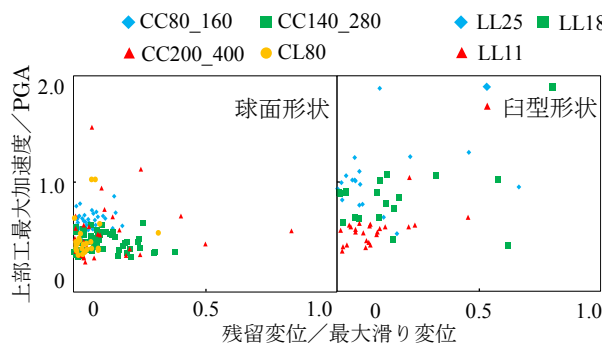


図-6 上部工の加速度低減効果と残留変位の関係