

摩擦振子型免震機構を有する橋脚の開発に関する基礎的研究

東北大学 学生会員 ○黒田千砂子 東日本高速道路(株) 正会員 青木直
 東北大学大学院 正会員 秋山充良 東北大学大学院 フェロー 鈴木基行
 東北大学大学院 学生会員 阿部遼太

1. はじめに

既存の免震橋梁は、系の1次固有周期を2秒前後にチューニングすることが一般的である。現在入手可能な材料の組み合わせのもとでは、長周期化の限界として4~5秒程度の数字が提示されている。強震動予測学の立場から定義されるやや長周期(2秒から20秒程度)の帯域を狙うことで、起こりうる全ての地震動に対して系の応答の感度を極端に鈍感化させることが可能になる。

本研究では、現行の免震設計の範疇を逸脱した超免震構造を以下の3つのコンセプトのもとで実現し、橋梁の地震時の安全性を飛躍的に向上させることを試みる。

(1) 免震支承等の装置を用いず、構造形態のみの工夫(滑り曲面の設置とその形状の工夫)により超長周期構造を実現する。既存の免震支承では実現できない超長周期の領域に挑戦する。

(2) 振子の挙動をする部材と滑り曲面に使用する材料の組み合わせを調整することで最適な摩擦力が得られる条件を見出し、橋脚(滑り面下端にある部材)や基礎への地震時慣性力の大幅な低減を図る。

(3) 一般的な鉄筋コンクリート構造と同じ材料を使用することにより、免震化に伴うコスト増を最小限に抑える。

本研究は、開発の基礎検討として、この概念を実現する小型橋梁模型を用いた振動実験を実施し、開発構造の免震効果などを確認する。

2. 摩擦振子型免震機構を有する橋脚の基本概念

諸外国において、近年、摩擦振子型免震支承の利用による免震設計が検討されている¹⁾。この機構は、ある摩擦力以上のせん断力の作用下において、曲面上を振子が振動することで、曲面半径 R に応じた長周期化と曲面の存在による地震後の残留変位の低減を図る(図-1)。本研究では、構造形態の工夫により、この摩擦振子型免震機構を橋脚中間部に設ける構造を提案する。具体的には、図-2に示すように、橋脚中間部に滑り曲面を設け、滑り曲面の上側に位置する部材が摩擦振子の挙動を示すことで、橋梁全体系の長周期化を図る。図-2の楕円形の形状を決定するパラメータ b と d を操作することで、滑り曲面の形状を調整し、中心部からの変位 x に応じて剛性を緩やかに変化させる。

なお、本振動実験では、この構造の基本的な地震応答特性の確認を目的としたため、供試体の滑り曲面の形状は楕円形とせず、ある半径を有する円弧の一部とした。

3. 実験概要

供試体諸元の一覧を表-1に示す。また、供試体の設置状況の一例を写真-1に示す。摩擦振子(桁を受ける橋脚上部の部材)はコンクリートと鉄製であり、滑り曲面を有する橋脚(以降、滑り曲面橋脚)は鉄筋コンクリート(RC)である。摩擦振子と滑り曲面橋脚がともにコンクリート製のとき、摩擦係数が大きくなり、摩擦振子は滑り難くなる。滑り曲面は、実橋レベルの固有周期が約4秒および6秒となるように、その半径を決定した。なお、ここで言う固有周期は、地震時に作用する水平力が大きくなり、滑り曲面橋脚と摩擦振子間に滑りが生じた後の状態から求められる値であり、滑り曲面の半径のみに依存する²⁾。以降では、滑りの発生前後の状態から求められる固有周期をそれぞれ T_a 、および T_b と称す。



図-1 摩擦振子型免震支承の模式図

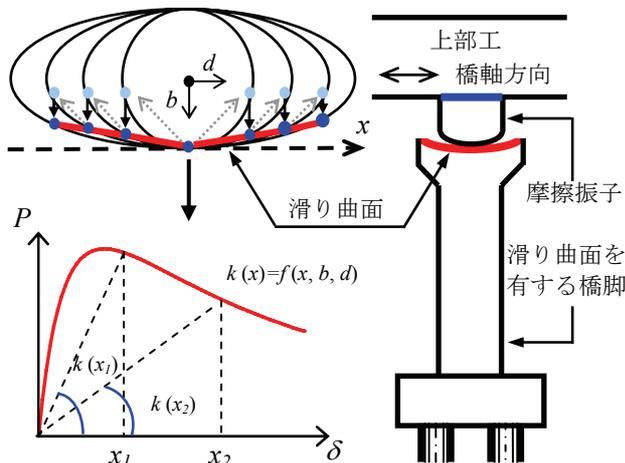


図-2 摩擦振子型免震機構を有する橋脚の概念図

Key Words : 免震, 摩擦振子機構, 振動台実験

連絡先 : 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL : 022 (795) 7449 FAX : 022 (795) 7448

表-1 供試体諸元一覧

供試体名	曲面半径 (m)	$T_b^{1)}$ (sec)	摩擦振子の材料
PC1	0.13	0.72 (4.14)	コンクリート
PC1-S	0.13	0.72 (4.14)	鉄
PC2	0.26	1.02 (5.86)	コンクリート
PC2-S	0.26	1.02 (5.86)	鉄
PN	1本柱形式(固有周期=0.07秒)		

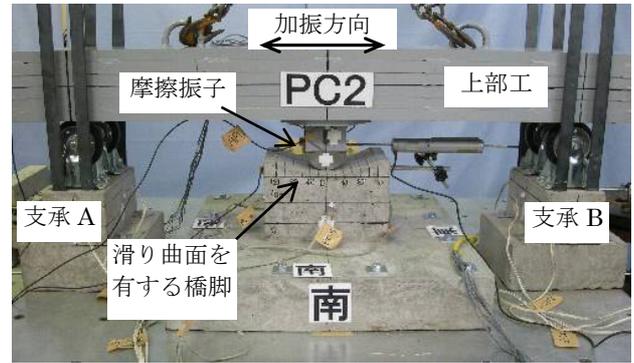


写真-1 供試体設置状況の一例

1) 滑り発生後の周期で括弧内は実橋スケールでの値

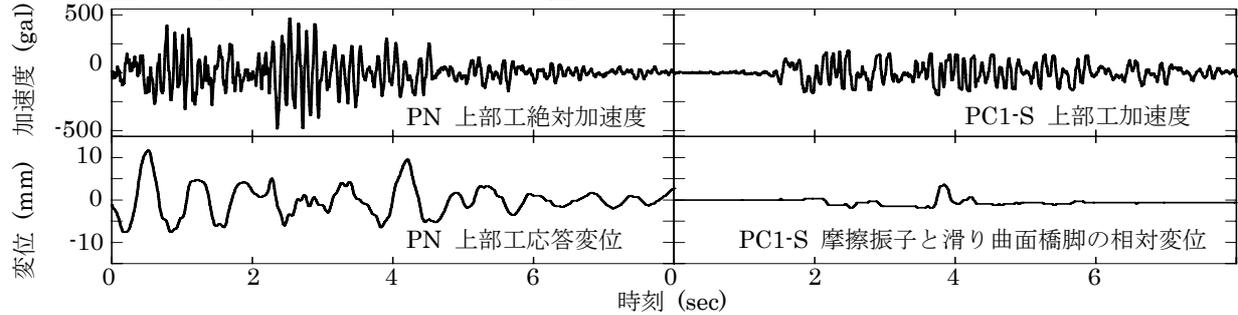


図-4 時刻歴応答波形の一例

入力地震動は、相似則を考慮して時間軸を調整した。構造物の周期と地震応答特性の関係を考察するため、短周期構造物が大きく応答する地震動(短周期波)と長周期構造物が大きく応答する地震動(長周期波)の2種類とした。

測定項目は、振動台と上部工位置の加速度と変位、摩擦振子と滑り曲面間の相対変位、および摩擦振子等の軸ひずみである。以降では、振動台位置で得られた加速度時刻歴波形の最大値をPGAと称する。

4. 実験結果

図-4に、PC1-SおよびPN供試体から得られた時刻歴波形の一例を示す。既存RC橋脚を想定して製作されたPN供試体に比べ、摩擦振子型免震機構を有するPC1-S供試体は、応答加速度を大幅に低減できることが確認される。以降、各実験パラメータに着目して、開発構造の地震応答特性の詳細を考察する。

上部工の最大応答加速度とPGAの関係は、短周期波を入力した場合、PN供試体に対し、摩擦振子型免震機構を有する供試体は、大きく加速度の低減を図れているものの、供試体毎の差は小さい。これは、短周期波においては、 T_b が小さいPC1、PC1-S供試体でも既に十分な長周期化が実現されているためである。一方、長周期波では、PC1やPC1-Sの固有周期は、まだ構造物を大きく応答させる周期帯にあり、大きな上部工加速度が生じる結果となった。

摩擦振子と滑り曲面橋脚で生じる最大相対変位とPGAの関係は、上部工の最大応答加速度の場合と同様に、短周期波では供試体毎の差は小さいが、長周期波では摩擦が大きなPC2供試体で相対変位を低減できていた。一方、滑り面の最大相対変位と残留変位の関係は、PC2では発生する相対変位が小さい反面、摩擦係数と滑り曲面橋脚の曲面半径が大きいことから、大きな残留変位が生じる結果となった。ただし、摩擦振子がコンクリート製と鉄製の場合の最大残留変位は、最大でもそれぞれ3.4mmと2.1mm程度であり、開発した橋脚は十分なセルフセンタリング機能を有していると言える。

5. まとめ

摩擦振子型免震機構を有する橋脚を開発し、小型橋梁模型を用いた振動実験から、その耐震性能を確認した。摩擦振子の滑りによりもたらされる長周期化により、開発構造は、地震時慣性力を大きく低減し、一方で曲面によるセルフセンタリングにより残留変位もそれ程大きくならないことなどが示された。

参考文献

1) Pranesh, M. and Ravi, S. : VFPI : an isolation device for seismic design, Earthquake engineering and structural dynamics, Vol. 29, pp. 603-627, 2000. 2) Jangid, R. S. : Optimum friction pendulum system for near-fault motions, Engineering structures, Vol. 27, pp. 349-359, 2005. 3) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説(V耐震設計編), 2002.