

摩擦振子型免震機構を有する橋脚に生じる地震後の残留変位に関する基礎的研究

早稲田大学 学生会員 ○金井晴弘, 榎本佑矢 日本工営 (株) 正会員 小森暢行
早稲田大学 正会員 秋山充良 大阪大学 正会員 小野潔 国土交通省 正会員 阿部遼太

1. はじめに

著者らは、摩擦振子型免震機構を有するコンクリート橋脚を提案し、その震動台実験により、基本的な地震時の応答特性を確認した^{1), 2)}。本構造では、摩擦振子が滑り曲面上を運動することで、上部工に作用する慣性力の下部構造への伝達が遮断され、滑り曲面の形状および摩擦振子と滑り曲面間の摩擦で決定されるせん断力に起因する断面力が橋脚基部や基礎に作用する。これにより、地震動の大きさに関係なく、橋脚基部や基礎に作用する最大断面力を構造諸元のみで決定できるため、橋脚や基礎の弾性設計が可能となる。さらに、免震支承等の特別な装置を必要とせず、構造形態のみの工夫により長周期構造を実現するため、免震化に伴うコスト増を抑えることができる。

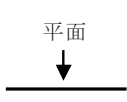
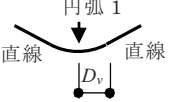
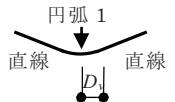
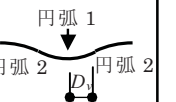
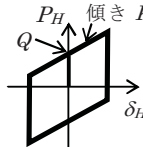
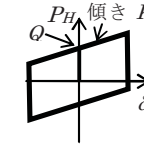
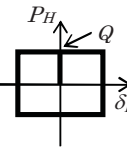
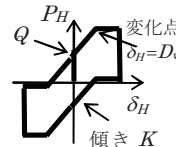
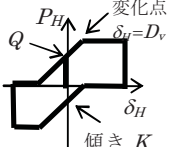
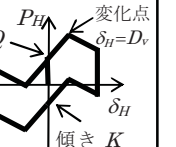
参考文献 1), 2)で実施した震動台実験により、地震中の橋梁の安全性を確保する上で、摩擦振子型免震機構を有するコンクリート橋脚の有用性を確認できた。ただし、地震後の供用性を本構造が確保できていることを示すには、摩擦振子と滑り曲面間で生じる地震後の相対変位（残留変位）についての検証が必要である。本稿では、摩擦振子型免震機構を有するコンクリート橋脚の震動台実験を実施し、滑り曲面の形状、あるいは地震動特性などが残留変位やそのバラツキの大きさに与える影響を確認する。

2. 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。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。半径一定の定曲面を有する供試体と異なり、供試体 PF-1 や PF-2 では、円弧と直線の組み合わせからなる滑り曲面を使用している。これにより、仮に大きな地震力を受けたとき、摩擦振子は円弧から直線の上を滑るようになり、柱下端に作用する地震時慣性力はある一定値以上にならない。一方で、定曲面の場合に比べ、大きな応答変位が生じた後の原点回帰が小さくなり、残留変位が大きくなる可能性がある。供試体 F-1 の滑り曲面は曲面を持たない平面である。

参考文献 1)と 2)では、2003 年十勝沖地震の幕別町で観測された地震波（以下、短周期波）の振幅の大きさを 50%～250%の範囲で小さくして震動台実験に使用した。本研究では、地震動特性の違いが残留変位に与える影響を検討するため、短周期波 250%を入力したときに摩擦振子に生じる最大滑り変位に近い応答を与える 4 つの地震波を用意した。具体的には、2007 年中越沖地震の際に刈羽村役場で観測された NS 成分（刈羽波）、1995 年兵庫県南部地震の際に JR 鷹取駅構内で観測された NS 成分（鷹取波）、1983 年日本海中部地震の際に津軽大橋周辺で観測された EW 成分（津軽波）、および 1999 年台湾で発生した集集地震で観測された地震波（集集波）を集め、そして、これらの地震波

表-1 供試体諸元の一覧

供試体名	C-1	C-2	F-1	PF-1	PF-2	PE-1
滑り曲面の形状						
荷重-変位関係						
円弧 1 の半径	$R_1 = 80\text{mm}$	$R_1 = 130\text{mm}$	平面	$R_1 = 80\text{mm}$	$R_1 = 80\text{mm}$	$R_1 = 80\text{mm}$
円弧 2 の半径	—	—	—	$R_2 = \infty$	$R_2 = \infty$	$R_2 = 130\text{mm}$
D_v a)	—	—	—	23.0mm	15.3mm	23.0mm
固有周期(供)	2.0s	0.53s	∞	0.35s	2.0s	2.0s
固有周期(実)	0.35s	3.3s	∞	2.0s	0.35s	0.35s

a) 円弧 1 の中心位置から円弧 1 と直線の境界、あるいは円弧 1 と円弧 2 の境界までの水平距離

を相似則に基づき修正し、入力した際に得られる摩擦振子 (C-1 供試体で摩擦振子は鋼製) の最大滑り変位が短周期波 250% の入力結果から得られた最大滑り変位と概ね一致するように振幅の大きさを調整した。各入力地震波の加速応答スペクトルの比較を図-1 に示す。なお、地震波は橋軸方向の一方向に入力している。多方向入力を受ける場合の検討は今後の課題である。

3. 実験結果

摩擦振子型免震機構を有するコンクリート橋脚の震動台実験により、摩擦振子と滑り曲面間に生じる残留変位の大きさを実験的に検討する。また、摩擦振子を 1 質点に置換し、表-1 に示す骨格曲線を与えることで摩擦振子の滑り曲面上の運動を表現した。そして、この 1 質点系の運動方程式を解くことで、残留変位の大きさを解析的に算定する。

図-2 には、全ての供試体について、地震波毎の残留変位の実験値と計算値の比 $\gamma (= (\text{実験値}) / (\text{計算値}))$ を求めた結果を示す。実験値と計算値で正負の符号が異なることがあるため、 γ は正負の値を取る。図-2 に示されるように、滑り曲面の形状や地震動によらず、摩擦振子型免震機構を持つコンクリート橋脚に生じる残留変位を時刻歴応答解析で評価した結果には、非常に大きなバラツキが含まれることが分かる。実験でも、大きな滑りが生じた後の摩擦振子は、滑り曲面の存在により原点に回帰する動きを見せるが、その運動は滑らかなものではなく、地震動の振幅が小さくなる過程で停止と滑りを繰り返しながら収束し、残留変位が生じている。この動きを再現するには、摩擦振子を質点に置換し、加振中の摩擦係数を一定に仮定する

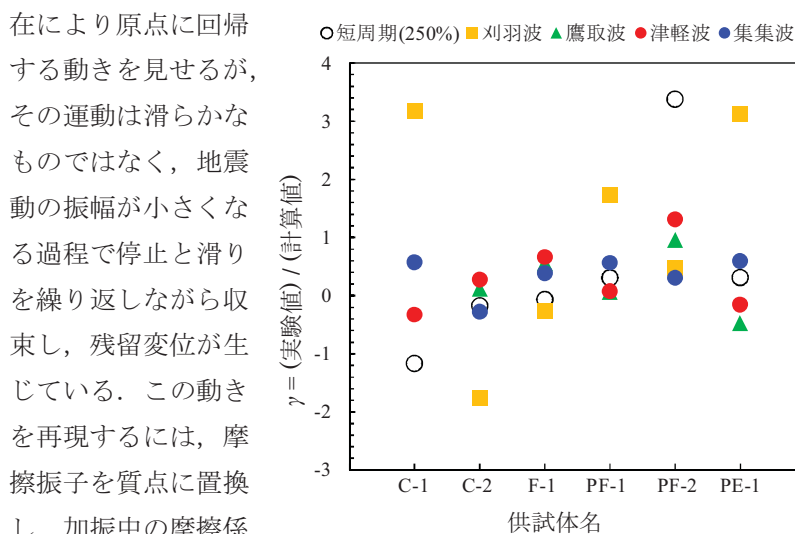


図-2 実験値と解析値の比較 (左図: 摩擦振子・鋼製, 右図: 摩擦振子・コンクリート製)

ような簡易な応答解析からの改善が必要であり、今後の課題である。

4. まとめ

本稿では、摩擦振子型免震機構を有するコンクリート柱に生じる残留変位について検討した。実験的に得られる残留変位は、地震動毎のバラツキが非常に大きいことを確認した。しかし、今回の検討に用いた短周期波 250% は、現行の耐震設計で規定されるレベル 2 地震動よりも大きく、それによる最大滑り変位が生じた後にも、本構造に生じる残留変位は小さい値に抑えられることを確認できた。

参考文献 1) 秋山充良, 青木直, 阿部遼太, 黒田千砂子: 構造形態の工夫によるコンクリート構造の長周期化に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.859-864, 2011. 2) 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.

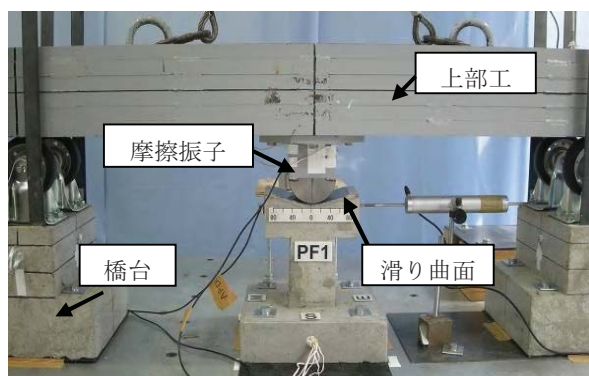


写真-1 供試体設置状況 (供試体 PF-1)

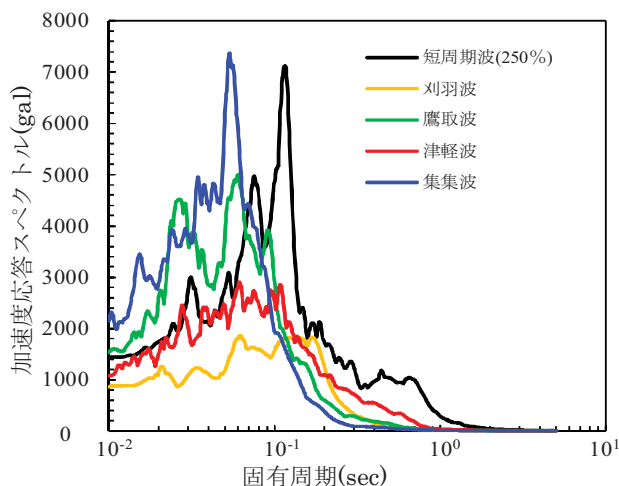


図-1 加速度応答スペクトル

