

# 水平動と上下動を同時に受ける摩擦振子型免震機構付き鋼製橋脚の震動実験

早稲田大学 学生会員 ○石橋 寛樹, 金井 晴弘

大阪大学 正会員 小野 潔

早稲田大学 正会員 秋山 充良

日本工営(株) 正会員 坂柳 皓文

## 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<sup>1)</sup>。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。一方で、過去のすべての震動実験は、橋軸一方向入力に対する提案橋梁の地震応答特性の評価を目的としていた。本研究では、水平動と上下動を同時に受ける摩擦振子型免震機構付き鋼製橋脚の震動実験を実施し、特に上下動が提案橋梁の水平方向の応答に及ぼす影響を実験および解析により評価する。

## 2. 実験概要

供試体諸元を表-1に示す。また、供試体設置状況を写真-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。なお、加速度および橋脚の躯体に作用する面圧の相似比を1.0にしている。供試体は、上部工(鉄の錘)、橋台、滑り曲面を有する橋脚、および摩擦振子部材から構成される。上部工重量は750kgfであり、摩擦振子に作用する軸力は約1.47MPaである。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、滑り曲面との接触部は半径25mmの半円となっている。橋脚の外径は60.5mm、板厚は2.3mm、材質はSKK490の電縫鋼管である。表-1に示すように、滑り曲面は摩擦振子に生じる水平変位が $D_v$ 以下では円弧、 $D_v$ 以上では直線形状となっており、骨格曲線は水平荷重が水平変位の大きさに関係なく一定値となるトリリニア型でモデル化される<sup>1)</sup>。なお、実験供試体の滑り発生後の固有周期は供試体スケールで約0.47秒、実橋スケールで約2.7秒である。本実験には、短周期波としてT100とT250、長周期波として第18波と第20波の計4種の地震動を用いた。T100とは、2003年十勝沖地震の際に幕別町本町で観測された地震波を相似則に基づき修正したものであり、T250とは、T100波の加速度振幅倍率を水平と上下方向ともに2.5倍に拡大した地震波である。第18波および第20波は著者らが作成した模擬地震動である。これら4種の地震動の加速度応答スペクトルを図-2に示す。図-2には、道路橋示方書のレベル2地震動タイプII(I種地盤)(固有周期の値は相似則を考慮して修正)の加速度応答スペクトルも比較のために示している。

3. 実験・解析結果

摩擦振子型免震機構付き鋼製橋脚を用いた二方向震動実験を行い、上下動が提案橋梁の地震応答特性に与える影響を評価する。また、供試体を多質点系に置換した非線形動的解析により実験結果の再現解析も行う。本実験では、T250と第20波に関しては、水平動の加速度振幅倍率を一定にしたまま、上下動の加速度振幅のみを150%、200%と漸増させた場合の実験も行った。なお、例えば、T250の上下動加速度の振幅倍率が100%の場合を「T250(UD100)」。

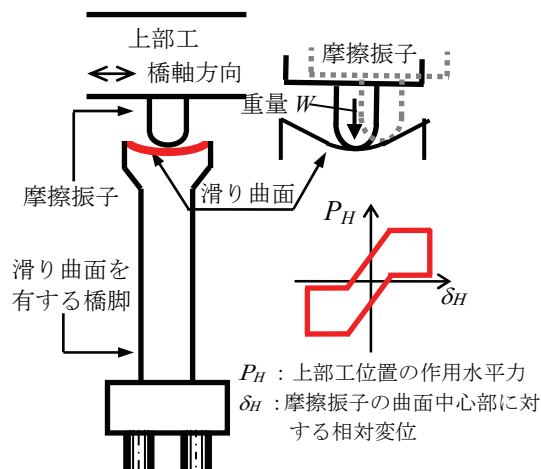


図-1 摩擦振子型免震機構付き橋脚

表-1 供試体諸元

| 滑り曲面形状                                                     | 荷重-変位関係                                                         |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 円弧<br>(半径 $R = 80\text{mm}$ )<br>直線<br>$D_v = 15\text{mm}$ | $P_H$<br>$Q$<br>変化点<br>$\delta_H = D_v$<br>$\delta_H$<br>傾き $K$ |

※ 円弧の中心位置から円弧と直線の境界までの水平距離

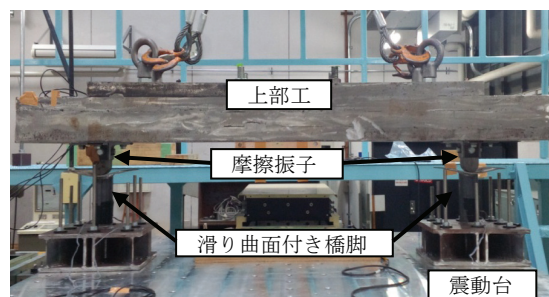


写真-1 供試体設置状況

Key Words : 摩擦振子, 震動実験, 長周期構造, 非線形動的解析, 橋梁

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

上下方向へ加震しない場合は「T250(UD0)」と表記する。

図-3に各地震動入力に対する水平荷重－水平変位関係を示す。図には、摩擦振子を質点系に置換し、力の釣合いより求めた骨格曲線も併せて示している。ここでは摩擦係数の速度依存性は考慮せず、実験値より同定された摩擦係数(約0.391)を常に用いている。図-3より、T250以外の地震動においては、水平荷重－水平変位関係が骨格曲線に概ね従っていることが分かる。長周期波に着目すると、水平変位が滑り曲面の曲面変化点以下では、水平変位に比例して水平荷重が漸増するが、曲面変化点以降では、水平荷重が頭打ちとなり、荷重の増加を抑制できている。T250波を入力する場合、上下動の振幅倍率が大きくなるにつれて、骨格曲線を上回る形で水平荷重の最大値が観測されている。T250は他の地震動に比べて上部工に作用する上下動が大きく、水平方向の力の釣り合いのみで定めた骨格曲線と大きな乖離が生じたと考えられる。また、上下動が増加するにつれて、水平変位も増加する傾向がある。摩擦振子と滑り曲面間の摩擦力が上下動の影響により時々刻々と変化したことが原因と考えられる。

図-4にT250(UD100)および第20波(UD100)を入力した場合の水平荷重－水平変位関係の実験値と解析値の比較を示す。解析において、軸力変動は上部工に生じる鉛直方向慣性力を考慮することで算定し、摩擦係数の変動は岡本らの研究<sup>2)</sup>を参考に、速度依存性を考慮することで算出した。図-4より、短周期波では、軸力変動の影響が大きく、長周期波の場合は、摩擦係数の変動がそれぞれの応答に大きな影響を与えていることがわかる。本実験では、短周期波では上部工に作用する上下動が大きくなったため軸力変動の影響を強く受け、長周期波では上部工の滑り速度が小さくなったため摩擦係数の変動による影響が大きくなったと考えられる。

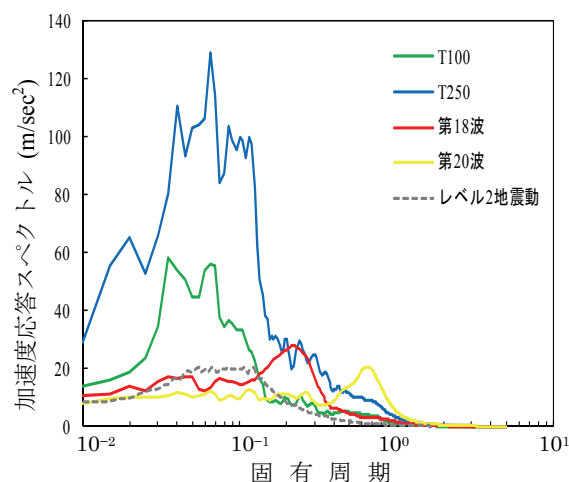


図-2 加速度応答スペクトル

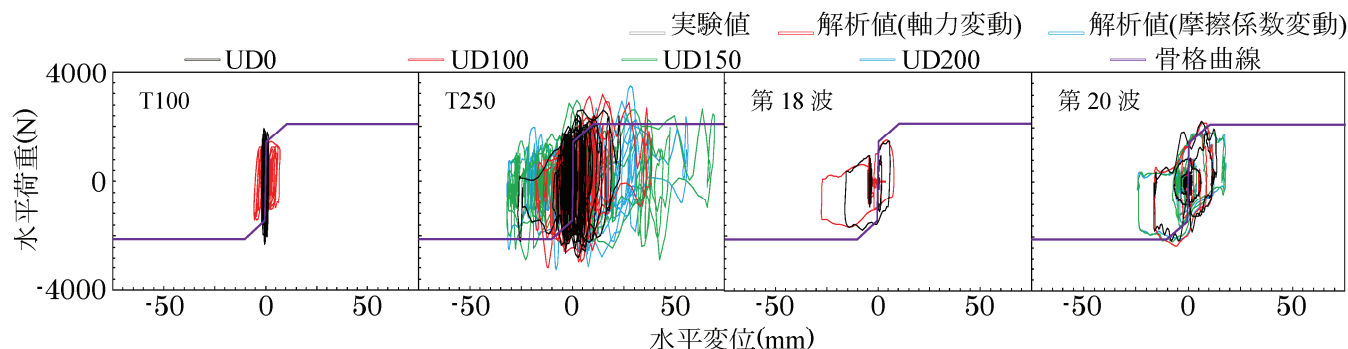


図-3 水平荷重－水平変位関係 (実験値比較)

#### 4. まとめ

本研究では、上下動が提案橋梁の水平方向の応答に及ぼす影響を評価した。摩擦振子と滑り曲面間の摩擦力により地震時挙動が支配される提案橋梁では、上下動により摩擦の状態が変化するため、これが橋梁の水平方向の応答に及ぼす影響は小さい。解析では、時々刻々と変化する摩擦振子と滑り曲面間の軸方向力と摩擦の状態を考慮したモデルを用いる必要がある。

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) 岡本晋, 深沢泰晴, 藤井俊二, 尾崎大輔: すべり方式免震システムを有する橋梁の地震時挙動特性, 土木学会論文集, No. 513/I-31, pp.191-200, 1995. 岡本晋, 深沢泰晴, 藤井俊二, 尾崎大輔: すべり方式免震システムを有する橋梁の地震時挙動特性, 土木学会論文集, No. 513/I-31, pp.191-200, 1995.

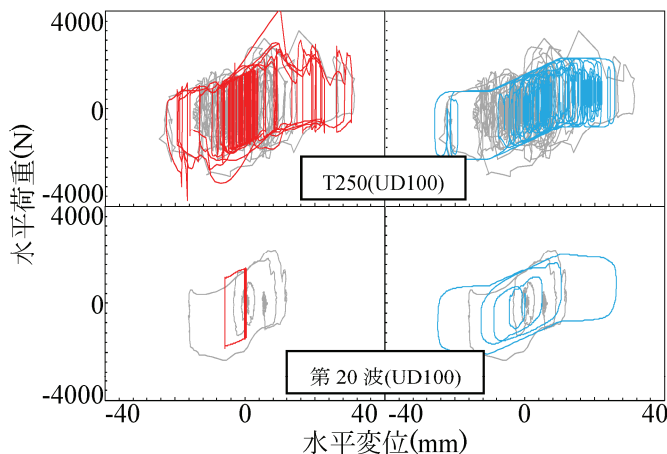


図-4 水平荷重－水平変位関係(再現解析)