

7. 橋の挙動に対する追従性とダンパー軸方向の保持を両立する摩擦ダンパーの開発

Development of the Friction Damper Compatible Following Seismic Response of the Bridge with Keeping the Damper Axially

木村浩之* 波田雅也* 山崎 彬* 下村将之*

—概要—

筆者らは、摩擦ダンパーを支承部の橋軸直角方向に設置することで既設橋梁の耐震性の向上を図る耐震補強工法を提案している。従来の摩擦ダンパーは、橋軸方向変位に対して追従可能であるものの、橋軸方向にダンパー軸が傾いて橋軸直角方向に対する制震効果が低下する可能性があった（図 1-a）。そこで筆者らは、橋軸方向変位をはじめとする上部構造の挙動に追従しつつ、ダンパー軸を橋軸直角方向に保持し、橋軸直角方向の荷重を確実に摩擦ダンパーに伝える機構“横変位摩擦ダンパー”を考案した（図 1-b、写真 1）。本報では、横変位摩擦ダンパーの機構および機能について記述し、変位追従性能および履歴性能の確認を目的として実施した静的載荷試験について報告する。

—技術的な特長—

横変位摩擦ダンパーは、ダンパー中央部に鉛直軸回りと橋軸回りの回転構造、ダンパー両端にすべり材を取り付けたスライド部を設けることで上部構造の挙動に追従しつつ、ダンパー軸を橋軸直角方向に保持する。図 2 のように、常時からレベル 2 地震動を上回る想定外の地震に対して機能が遷移する。設定荷重 500kN の試験体に対して橋軸方向と橋軸直角方向の 2 方向同時載荷を実施した結果、ダンパー軸方向を保持しながら摩擦ダンパーとスライド部が一定の荷重で摺動した。スライド部の荷重は摩擦ダンパー荷重の 1 割弱の低摩擦であり、摩擦ダンパーの荷重-変位関係は、2 方向載荷時と水平 1 方向載荷時でほぼ同様の履歴形状であった。

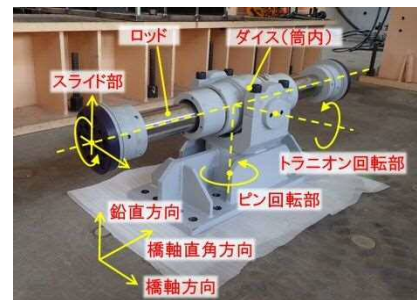
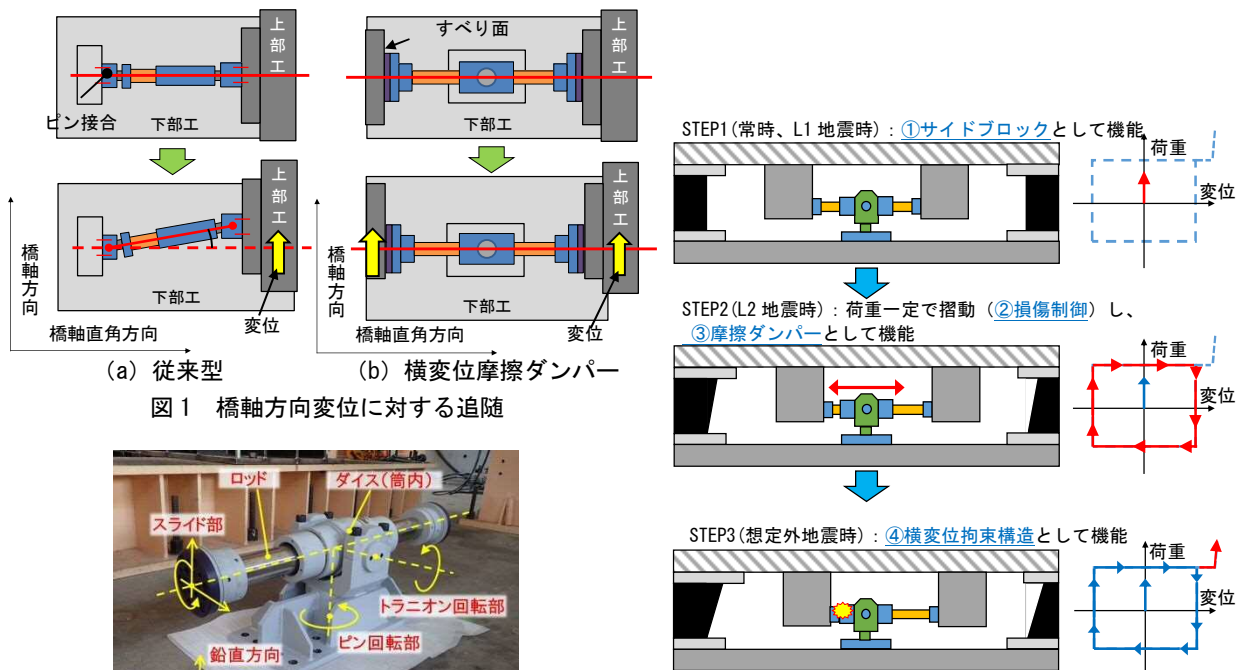


写真 1 横変位摩擦ダンパー試験体

※本報は、(一財)首都高速道路技術センターと青木あすなる建設(株)の共同研究「上部工耐震構造部材に関する研究」の研究成果の一部であり、本報の内容は土木学会第 74 回年次学術講演概要集 (I-235 および I-237, 2019.8) にて発表済みである。

橋の挙動に対する追随性とダンパー軸方向の保持を両立する摩擦ダンパーの開発 Development of the Friction Damper Compatible Following Seismic Response of the Bridge with Keeping the Damper Axially

○木村 浩之* 波田 雅也* 山崎 彬* 下村 将之*
Hiroyuki KIMURA Masaya HADA Akira YAMASAKI Masayuki SHITAMURA

ABSTRACT Authors have developed a seismic retrofit method to reduce damage to bridge due to a Level 2 earthquake by installing Die and rod type friction dampers to the direction perpendicular to bridge axis of the bridge. Although the conventional friction damper can follow the displacement in the bridge axis direction, the damper axial may be inclined in the bridge axis direction, and the damping effect in the direction perpendicular to the bridge axis may be reduced. We developed the friction damper compatible following seismic response of the bridge with keeping the damper axially. In this report, we describe the mechanism and function of the damper, and report on the static loading test performed to confirm the following performance and hysteresis performance. As a result of the test, the damper functioned following Slant 45 degrees static loading and displacement with keeping the damper axially.

Keywords: 摩擦ダンパー、ダイス・ロッド、橋梁、制震、追随性能、静的載荷試験

Friction Damper, Die and Rod, Bridge, Seismic Control, Following Performance, Static Loading test

1. はじめに

当社は首都高速道路(株)と共同で、「ダイス・ロッド式摩擦ダンパー(以下、摩擦ダンパー)」を支承部の橋軸直角方向に設置することで既設橋梁の耐震性能を向上させる橋梁耐震化工法を開発した^{1),2)}。従来の摩擦ダンパーは、取付方法にボールジョイントを用いた両端ピン接合を採用しており、直交方向に加振した場合であっても摩擦ダンパーが支障なく挙動することを振動台実験で確認している³⁾。

しかし、摩擦ダンパーが橋軸方向の変位を受けるとダンパー軸が傾き、制震効果が橋軸直角方向と橋軸方向に分散される懸念があった(図1(a))⁴⁾。そのため、より広範囲な橋梁に対応できる橋軸方向変位が生じてもダンパー軸方向を保持し、橋軸直角方向の力のみを摩擦ダンパーに伝える機構の開発が求められた。

そこで、摩擦ダンパーの両端にすべり面を設け、筒部の固定に回転機構を用いることで、橋軸方向変位や回転といった複雑な上部構造の

挙動に追随しつつ、橋軸直角方向の力のみを摩擦ダンパーに伝える機構「横変位摩擦ダンパー」を考案した(図1(b)、図2)。本報では、横変位摩擦ダンパーの機構について述べるとともに、実大サイズの試作品に対して実施した静的載荷実験の結果について報告する。

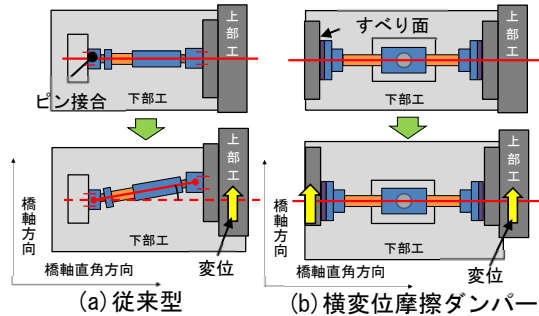


図1 橋軸方向変位に対する挙動の違い

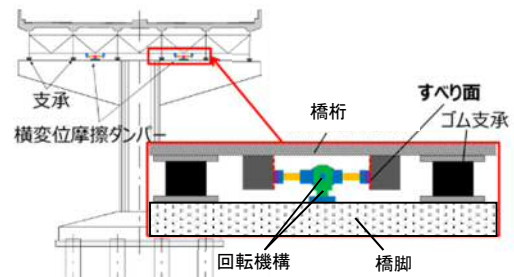


図2 横変位摩擦ダンパー設置イメージ

*技術研究所 構造研究部 土木構造研究室

※本報は、(一財)首都高速道路技術センターと青木あすなろ建設(株)の共同研究「上部工耐震構造部材に関する研究」に関する研究成果の一部である。

2. 横変位拘束型摩擦ダンパーの概要

2.1 ダイス・ロッド式摩擦機構および挙動追従機構

摩擦ダンパーの機構は、ダイス（環）とロッド（芯棒）で構成され、ダイス内径より少し太いロッドをダイスにはめ込むことにより、ロッドの外周に締め付け力が生じる仕組みを利用している（図3）。摩擦ダンパーは、設定摩擦荷重に達するまでは滑動せず、設定摩擦荷重に達すると、その摩擦荷重を保持しながらダイスがロッド上を滑動し、振動エネルギーを摩擦熱に変換して消散させる。

横変位ダンパーの設置状況を図4に、試作品を写真1に示す。本ダンパーは、ダイスを内蔵した筒部を下部構造に固定し、上部構造に設置するブラケット2基でロッドの両端を挟み込むようにして設置する。上部構造の挙動に対して、鉛直軸回りの回転にはピン回転部、橋軸回りの回転にはトラニオン回転部、鉛直方向および橋軸方向の変位ならびに橋軸直角周りの回転にはロッドの両端に設けたスライド部がそれぞれ追従する。

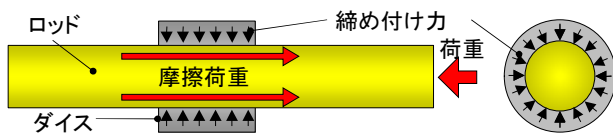


図3 ダイス・ロッド式摩擦機構

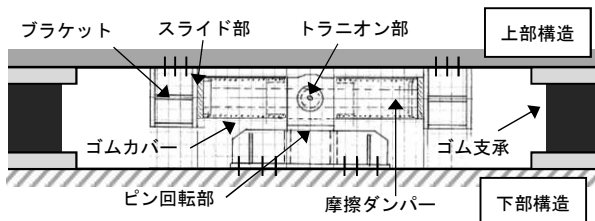


図4 横変位摩擦ダンパーの設置状況

2.2 横変位摩擦ダンパーの機能

横変位摩擦ダンパーは、図5のSTEP1～3に示すように、①～④の4つの機能を有する。

（STEP1）レベル1地震動では、静止摩擦力により橋軸直角方向の変位を拘束し、①サイドブロックとして機能させる。橋軸直角方向から作用する力が最大静止摩擦力を超えないとダンパーは動かないため、支承の橋軸直角方向への動きを拘束することができる。

（STEP2）レベル2地震動では、ダンパーの摩擦抵抗が最大静止摩擦力に達すると動摩擦力に切り替わり、二次勾配が0に近いほぼ一定の荷重でダイスとロッドが摺動する。これにより、上部構造から下部構造に伝わる②荷重は頭打ちとなり、荷重が上昇した場合に発生する可能性のある支承部や下部構造の損傷をダイスとロッドが摺動することによって生じさせない。ダンパー摺動後は、摩擦により地震力を熱エネルギーに換えることで③摩擦ダンパーとして機能する。

（STEP3）さらに想定を超える橋軸直角方向の地震応答変位が生じると、ダンパーのストロークがストロークエンドに達する。この際に横変位拘束構造としての耐力を持たせておくことで、④横変位拘束構造として機能させる。

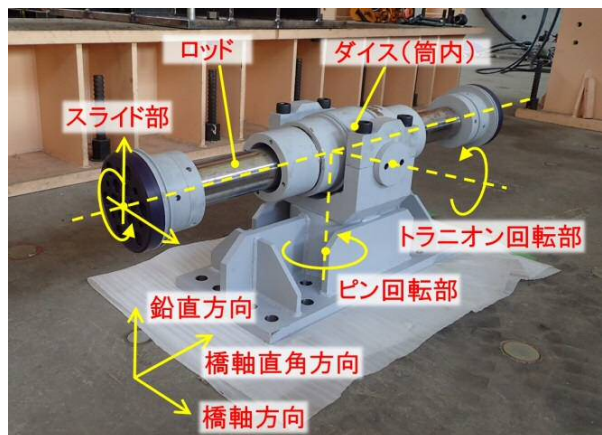


写真1 横変位摩擦ダンパー試作品

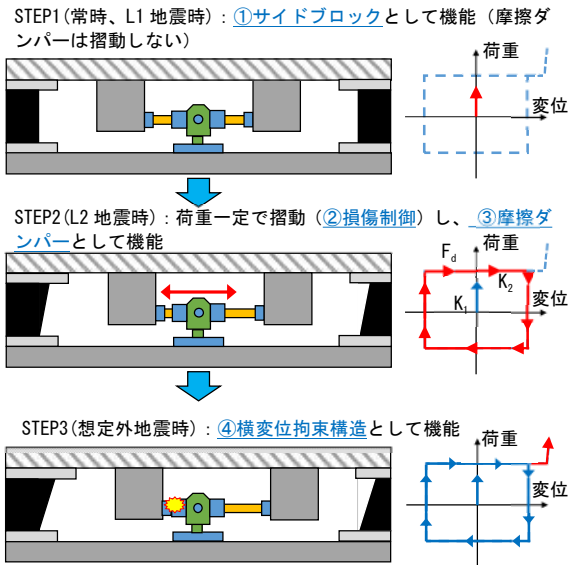


図5 横変位摩擦ダンパーの機能の遷移

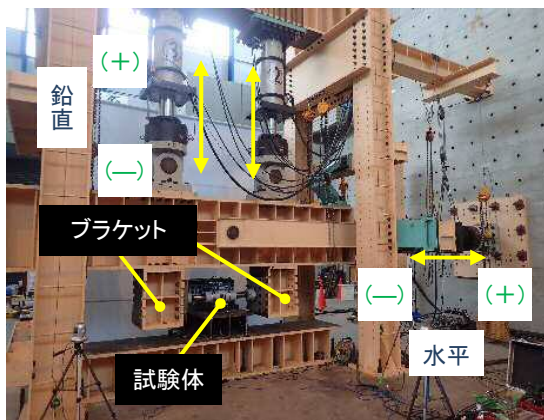


写真2 実験状況

3. 静的載荷実験

3.1 実験方法

実験状況を写真2に、載荷の軌跡を図6に示す。載荷は当社が所有する大型ジャッキシステムを用いた。加力方向は水平方向と鉛直方向の2方向とし、水平方向を橋軸直角方向、鉛直方向を橋軸または上下方向とした。試験体は下部の架台に、ブラケットは上部の載荷ビームに固定した。ジャッキシステムを操作し、アクチュエータに固定したブラケットを介して、横変位摩擦ダンパーを水平・鉛直2方向同時に45°方向の軌跡(図6①~⑦)となるように載荷した(2方向載荷)。また、水平荷重の変化を評価するため、事前に水平方向のみの1方向載荷を行い(水平載荷)、この際の平均荷重を基準荷重とした。実験条件は、載荷振幅±120mm、載荷速度0.5mm/secとし、水平・鉛直荷重および水平・鉛直変位を、ロードセルおよび変位計により計測した。

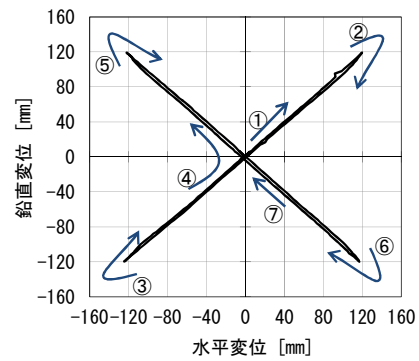


図6 2方向載荷の軌跡

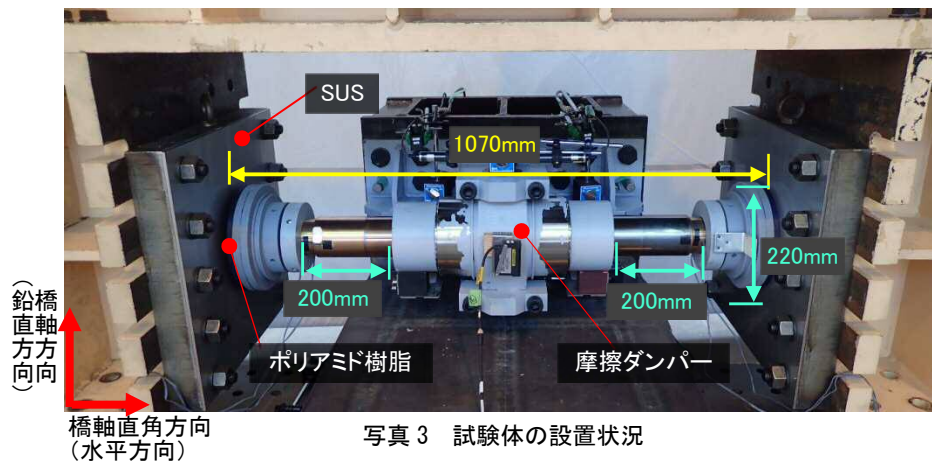


写真3 試験体の設置状況

3.2 試験体の概要

試験体の設置状況を写真3に示す。試験体の摺動時の摩擦荷重は500 kN、全長1070mm、最大ストロークは200 mmである。ただし、許容ストロークはブラケットと取り付け架台の兼ね合いのため原則±120 mmまでとした。

スライド部には橋軸方向及び鉛直方向の力にスライドして対応できるよう、ダンパーの先端にすべり材としてポリアミド樹脂を、ブラケット側には相手材としてSUS板を取り付けた。

3.3 実験結果

実験で得られた荷重および荷重比を表1に示す。横変位ダンパーは、2方向载荷に対して図7のように、水平・鉛直方向ともに一定の荷重を保持しながら摺動し、図8のように、2方向载荷時の水平方向の荷重-変位関係は、水平载荷時とほぼ同様の履歴形状であった。また、表1より鉛直荷重が水平荷重に対して10%未満であった。以上の結果から、摩擦ダンパーが摺動したのと同時にスライド部が低摩擦で鉛直変位に追従したといえる。

表1 荷重一覧

水平平均荷重[kN]	鉛直平均荷重[kN]	鉛直/水平	基準荷重[kN]	水平/基準
514.6	45.3	8.8%	531.7	96.8%

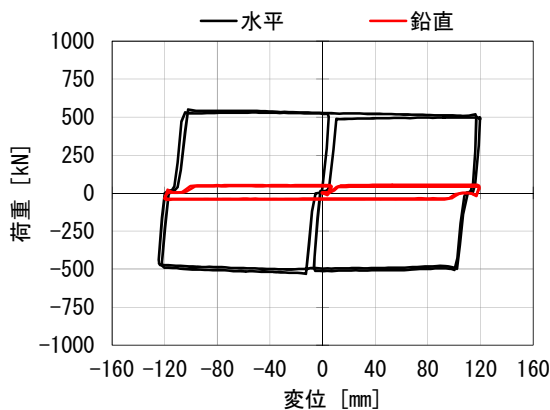


図7 2方向载荷の荷重・変位関係

4. まとめ

本報では、まず横変位摩擦ダンパーの摩擦機構や挙動追従機構の仕組み、機能について示した。次に2方向の静的载荷実験を行い、水平载荷時とほぼ同様の履歴形状であったこと、また、水平荷重と比較して鉛直荷重が10%未満に低減されていることがわかった。これらより、鉛直、橋軸方向の力に追従しつつ橋軸直角方向の力のみを伝える横変位摩擦ダンパーに求められた性能を満たしていることが確認できた。

【参考文献】

- 1) 波田雅也ほか：既設橋梁の耐震性向上に用いるダイス・ロッド式摩擦ダンパーの開発、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.2、pp.1003-1008、2016。
- 2) 波田雅也ほか：ダイス・ロッド式摩擦ダンパーを用いた橋梁模型の振動台実験、コンクリート工学年次論文集、Vol.39、No.2、pp.859-864、2017。
- 3) 和田 新ほか：橋梁に用いる制震デバイスの振動台実験による制震効果の確認、土木学会第71回年次学術講演会、I-200、2016。
- 4) (財)土木研究センター：-道路橋の免震構造研究委員会-道路橋の免震・制震設計法マニュアル(案)、8-2、2011。

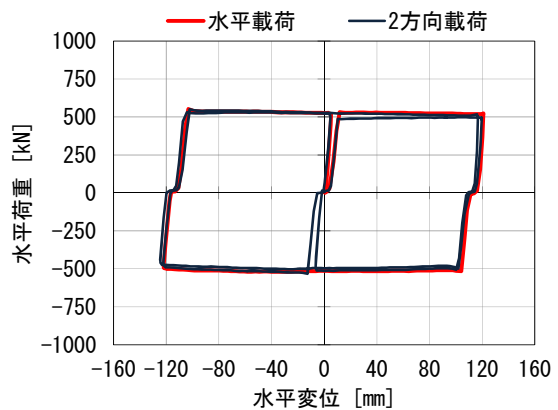


図8 水平方向の荷重・変位関係の比較