

9. 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考案

Invention of the Friction Damper Compatible Following the 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* 藤本和久*

—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くことによって生じる分力の影響への懸念があった（図1(a)）。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、橋軸直角方向の摩擦ダンパーとして所要の性能を発揮できる“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、橋軸方向変位の大きさに左右されることなく上部構造の挙動に追従することで、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。設計荷重600kNの試験体に対して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することを確認した。スライド部の摩擦係数は0.1程度の低摩擦であり、ダンパーの摩擦荷重は2方向載荷時と水平載荷時でほぼ同程度であったことから、横変位摩擦ダンパーが所要の性能を発揮するのに必要な特性をもつことが確認された。

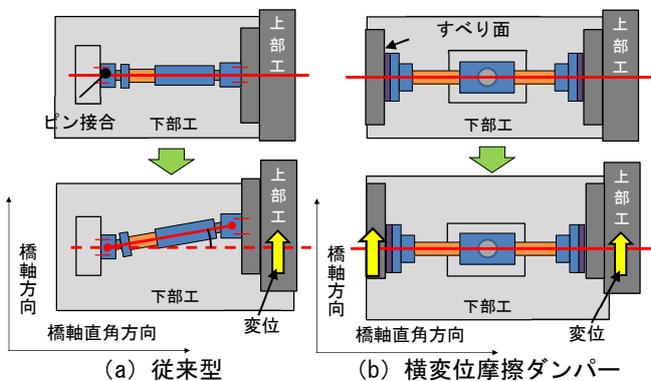


図1 橋軸方向変位に対する追従

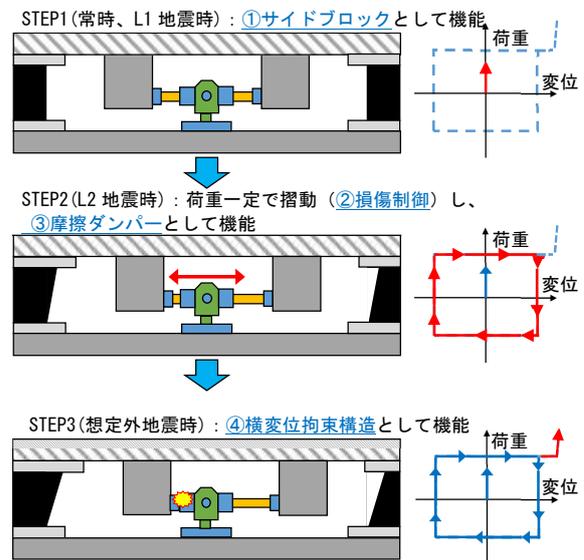


図2 横変位摩擦ダンパーの機能の遷移

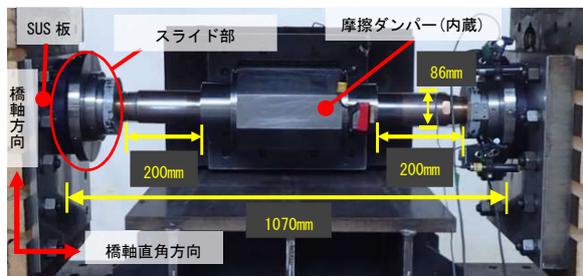


写真1 横変位摩擦ダンパー試験体

※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」に関する研究成果の一部である。

*技術研究所 構造研究部 土木構造研究室

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考案 Invention 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* 藤本 和久*
Hiroyuki KIMURA Masaya HADA Akira YAMASAKI Masayuki SHITAMURA Kazuhisa FUJIMOTO

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、橋梁の上部構造が橋軸方向に大きく変位すると、ダンパー軸が傾くことによって生じる分力の影響が無視できなくなる可能性がある(図1(a))⁴⁾。そのため、より広範囲な橋梁に対応可能となるように、橋軸方向変位の大きさに左右されることなく橋軸直角方向の摩擦ダンパーとして所要の性能を発揮する機構の開発が求められた。

そこで、摩擦ダンパーの中央を下部構造に固定し、両端にすべり面を設けることで、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する機構「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試験の結果について報告する。

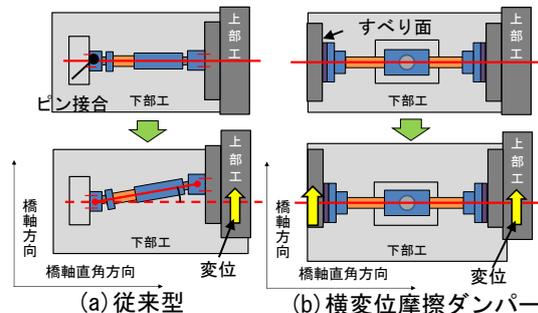


図1 橋軸方向変位に対する挙動の違い

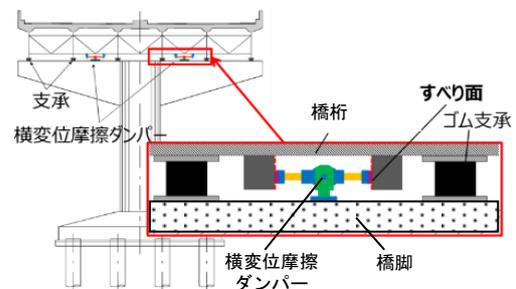


図2 横変位摩擦ダンパー設置イメージ

*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. 横変位摩擦ダンパーの概要

2.1 ダイス・ロッド式摩擦機構

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摺動せず、設定摩擦荷重に達すると、その摩擦荷重を保持しながらロッドが摺動し、振動エネルギーを摩擦熱に変換して消散させる。

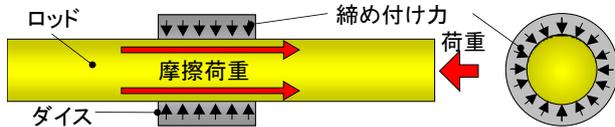


図3 ダイス・ロッド式摩擦機構

2.2 挙動追従機構

横変位摩擦ダンパーの設置状況を図4に、詳細図を図5に示す。横変位摩擦ダンパーは、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基でダンパーの両端を挟み込むようにして設置する。ダンパー端部に設けたスライド部が上部構造の橋軸方向変位に追従することで、橋軸方向変位の大き

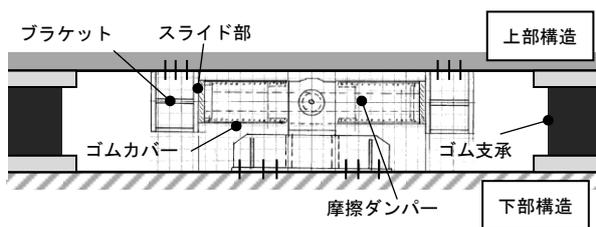


図4 横変位摩擦ダンパーの設置状況

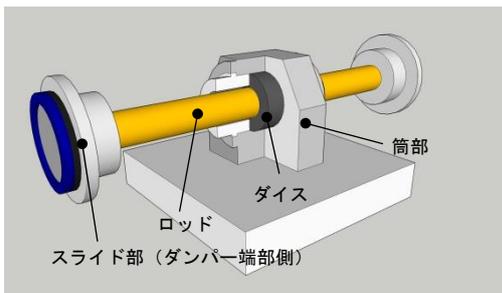


図5 横変位摩擦ダンパー詳細図

さに左右されることなく摩擦ダンパーが機能する。本報の図5のタイプの横変位摩擦ダンパーは、上部構造の回転挙動に対して部材の弾性変形で追従することを想定している。なお、上部構造の大きな回転挙動に対して回転機構を設けることで追従するタイプの横変位摩擦ダンパーを既に開発している⁵⁾。

2.3 横変位摩擦ダンパーの機能

横変位摩擦ダンパーは、図6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設定摩擦荷重に達するまでダンパーが摺動しないため、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ンパーが摺動する。これにより、上部構造から下部構造に伝わる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②損傷を生じさせない。ダンパー摺動中は、摩擦によって地震力を熱エ

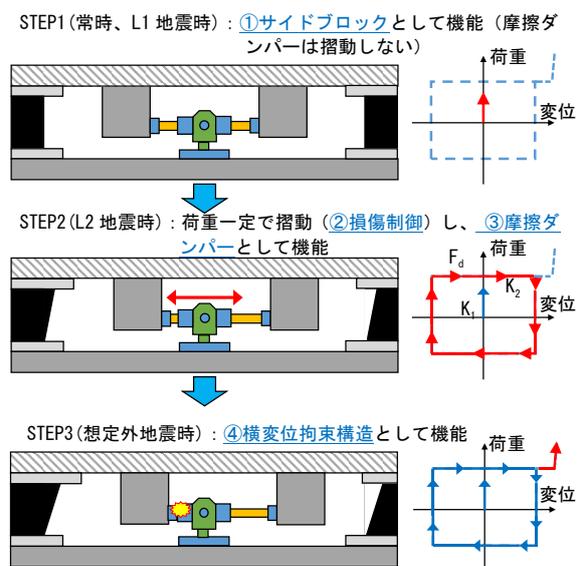


図6 横変位摩擦ダンパーの機能の遷移

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、ダンパーがストロークエンドに達する。この際に部材耐力を大きく設定することで、④横変位拘束構造として機能させる。

3. 静的載荷試験

横変位摩擦ダンパーが所要の性能を発揮するには、ダンパーが損傷しないよう低摩擦でスライド部が上部構造の橋軸方向変位に追随し、橋軸方向変位の有無によらずダンパーの摩擦荷重が安定していることが求められる。そこで、横変位摩擦ダンパーの特性の確認を目的として、橋軸直角方向と橋軸方向を同時に載荷する静的載荷試験を実施した。

3.1 試験方法

試験状況を写真1に、載荷の軌跡を図7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、鉛直方向を橋軸方向とした。試験体は下部の架台に水平方向がダンパー軸方向となるように設置し、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試験体を水平・鉛直2方向同時に45°方向の軌跡(図7 ①~③)となるように載荷した(2方向載荷)。水平方向の平均荷重(水平平均荷重)をダンパーの摩擦荷重の評価に、鉛直方向の平均荷重(鉛直平均荷重)をスライド部の摩擦荷重の評価に用いた。また、ダンパーの摩擦荷重の変化を評価するため、事前に水平方向の

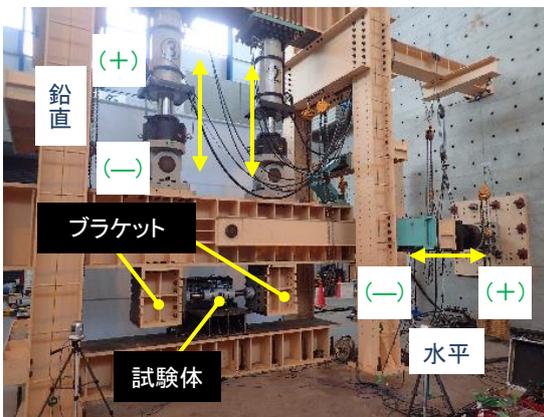


写真1 試験状況

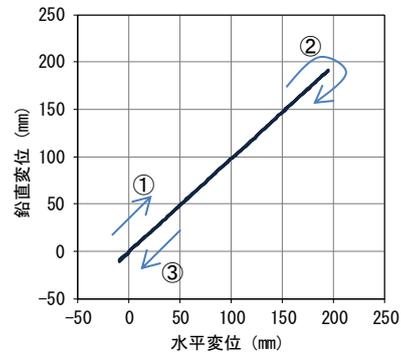


図7 2方向載荷の軌跡

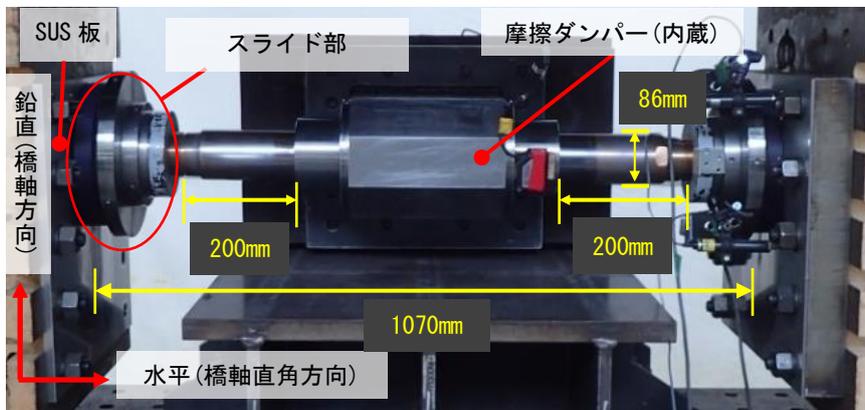


写真2 試験体設置状況

みの1方向荷重を行い、この際の平均荷重を基準荷重とした。試験条件は、載荷振幅+195mm、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。

3.2 試験体の概要

試験体の設置状況を写真2に示す。試験体の設定摩擦荷重は600kN、全長1070mm、最大ストロークは200mmである。ただし、許容ストロークは195mmまでとした。鉛直方向変位にスライド部で追随できるように、ダンパー端部側にすべり材として摩擦係数が約0.1のポリアミド樹脂を、ブラケット側に相手材としてSUS板を取り付けた。

3.3 試験結果

試験で得られた荷重—変位関係のグラフを図8に、荷重および荷重比を表1に示す。横変位摩擦ダンパーは、2方向荷重に対して図8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撓動した。表1より、スライド方向の鉛直平均荷重がダンパー軸方向の水平平均荷重に対して約11%であり、摩擦ダンパーが撓動したのと同時にダンパー両端のスライド

部が低摩擦で鉛直変位に追随したといえる。また、2方向荷重時の水平平均荷重は、水平載荷時の約108%であり、2方向荷重による摩擦ダンパーに対する荷重の影響は小さいといえる。

4. まとめ

本報では、まず横変位摩擦ダンパーの機構と機能の概要について示した。次に静的載荷試験を行い、2方向荷重におけるスライド部の摩擦係数が0.1程度であること、また2方向荷重におけるダンパーの摩擦荷重が1方向載荷時のダンパーの摩擦荷重とほぼ同様の荷重であることが分かった。以上の結果より、横変位摩擦ダンパーが所要の性能を発揮するのに必要な特性をもつことが確認された。

【参考文献】

- 1) 波田雅也ほか：橋梁の耐震補強に用いるダイス・ロッド式摩擦ダンパーの開発、土木学会論文集A1（構造・地震工学）、75巻、2号、pp.95-110、2019
- 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
- 5) 木村浩之ほか：橋梁上部構造の挙動に追随する横変位摩擦ダンパーの静的載荷実験、土木学会第74回年次学術講演会、I-237、2019

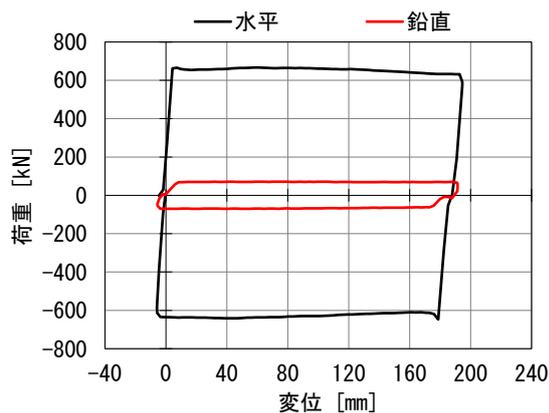


図8 2方向載荷の荷重・変位関係

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
水平載荷（基準荷重）	595.4	—	—	595.4	—
2方向載荷	641.9	70.7	11.0%	595.4	107.8%