

損傷制御を目的とした摩擦ダンパーの模型振動台実験 その1 基本特性

青木あすなろ建設(株) 正会員 ○木村浩之 下村将之 波田雅也 山崎 彬 藤本和久
フェロー会員 牛島 栄
首都高速道路(株) 正会員 山本一貴 松原拓朗
(一財)首都高速道路技術センター 正会員 張 広鋒 非会員 右高裕二

1. はじめに

筆者らは、既設橋梁の上下部接続部にダイス・ロッド式摩擦ダンパー(以下、摩擦ダンパー)を設置することで、L1 地震時に固定部材として機能し、L2 地震時に橋脚基部の応答低減を図る耐震補強工法を提案している^{1), 2)}。現在、可動支承の橋軸直角方向に摩擦ダンパーを設置した場合にも、上部構造の橋軸方向変位の大きさに左右されることなく所要の性能を発揮する機構「横変位摩擦ダンパー」の開発を行っている^{3), 4)}。本研究では、横変位摩擦ダンパーの動的挙動の特性を確認するため、二方向同時の正弦波加振による振動台実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 実験模型 実験状況を写真-1 に、模型諸元を表-1 に示す。本実験には国際計測器(株)が保有するテーブル寸法 2.5m×2.5m の電気サーボモータ式3軸振動試験機を用いた。フレームには偏心させた配置が可能なカウンターウェイトを積載した1.5m×1.5mの鋼板を用い、テーブル上に4基の剛すべり支承で支持し、復元ゴム2基でテーブルと接合した。試験体はテーブルに取付け、フレームに設置した2基のブラケットでダンパーの両端部に設けたスライド部を挟み込むように設置した。加振方向は東西のスライド方向をX方向(橋軸方向、西:+)、南北のダンパー軸方向をY方向(橋軸直角方向、北:+)とした。本報では、基本特性を確認するため、カウンターウェイトを平坦に配置した条件の結果を報告する。

2.2 試験体 ダンパー試験体の外観を写真-2 に、機構を図-1 に示す。摩擦ダンパーは、ダイス(環)とロッド(芯棒)の接触面に摩擦荷重が発生する機構である。試験体は設計荷重5kN、最大ストロークは±70mmとした。ダイスを内蔵した筒部は、ダイスを直に固定する仕様(=固定、図-1(a))と、上部構造に回転挙動が生じた際に追従するよう球体を内蔵した仕様(=ボール、図-1(b))の2タイプとした。

2.3 実験方法 入力波形は、漸増1サイクル、本加振5サイクル、漸減1サイクルの正弦波で、周波数はフレーム固有振動数に合わせて1.3Hzとした(図-2)。本報では表-2のX・Y方向の加振の組み合わせ計6ケースについての結果を比較した。計測項目は、モーションキャプチャを用いた変位とし、加速度は変位を2階微

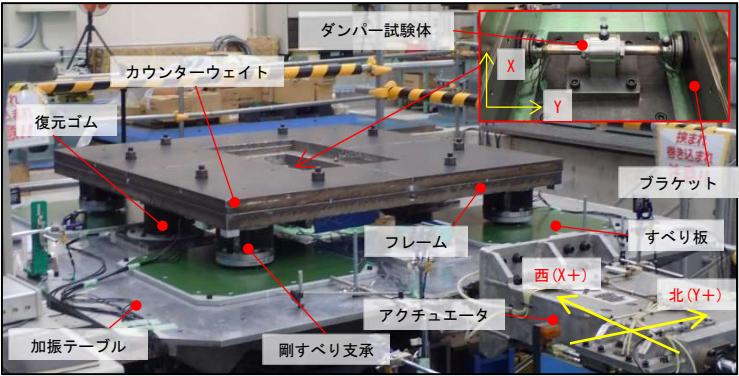


写真-1 実験状況

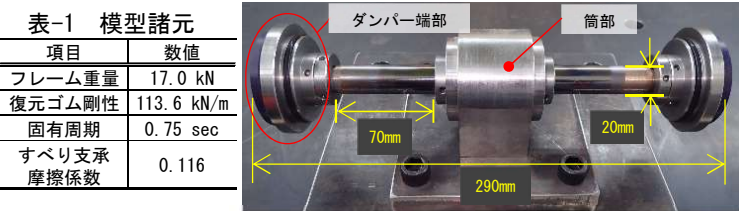
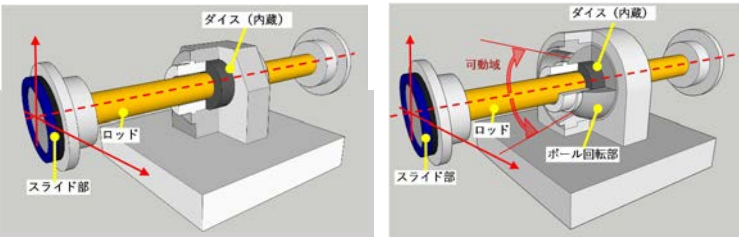


写真-2 5kN級ダンパー試験体(固定)外観



(a)固定タイプ (b)ボールタイプ
図-1 横変位摩擦ダンパーの機構

キーワード 摩擦ダンパー, ダイス・ロッド式, 橋梁, 制震, 振動台実験

連絡先 〒300-2622 茨城県つくば市要 36-1 青木あすなろ建設(株)技術研究所 構造研究部 TEL029-877-1112

分して算定した。荷重はフレーム質量に加速度を乗じた慣性力から、復元ゴム剛性にフレーム変位を乗じたゴム反力を差し引いた値とした。Y方向荷重は摩擦ダンパーと剛すべり支承の摩擦荷重の和、X方向荷重はスライド部と剛すべり支承の摩擦荷重の和である。

3. 実験結果

3.1 ダンパー性能特性 Y方向に加振した各ケースの応答値一覧を表-3に、摩擦ダンパーの荷重—変位関係を図-3に示す。Y方向に加振は、入力加速度 300cm/sec^2 では摩擦ダンパーが撓動せず、 450cm/sec^2 以上のケースでは撓動した。F_bにおけるダンパー累計変位および履歴吸収エネルギーは、F_aの約110%と同程度であった。一方、B_bにおけるダンパーの累積変位および履歴吸収エネルギーは、B_aの約4倍であった。平均荷重は同程度であることから、X方向加振によってダンパーの変位量が増加したといえる。

3.2 スライド性能特性 固定タイプでX方向に加振した各ケースの最大応答値を表-4に、加速度時刻歴を図-4に、フレームのX方向荷重—変位関係を図-5に示す。X方向の加振では、いずれのケースもスライド部への引っ掛かり等を生じることなくフレームが挙動し、応答加速度は入力加速度よりも大きかった。応答加速度振幅は小さい順でF_b、F_c、F_dであり、F_bの最大値はF_dの約70%であった。この順序はY方向の入力加速度の大きい順（500, 300, 0 cm/sec^2 ）と対応しており、平均荷重および図-5の復元ゴムのハードニングの影響が少ない変位 $\pm 150\text{mm}$ 以内におけるX方向荷重の大きい順にも対応している。このことから、Y方向への入力加速度が大きいほどスライド部の摩擦も大きくなり、X方向のフレーム挙動が抑制されたと考えられる。なお、ボールタイプも同様の傾向であった。

4. まとめ

本報では、横変位摩擦ダンパーに対する模型振動台実験によって動的挙動の基本特性を確認した。固定タイプは、二方向加振時のダンパー性能が一方向加振時と同程度であり、橋軸方向挙動の影響を受けにくいことが分かった。一方ボールタイプは、二方向加振時のダンパー累計変位および履歴吸収エネルギーが一方向加振時と比べて大きく、橋軸方向の力も摩擦ダンパーに伝わる可能性が示された。また、横変位摩擦ダンパーを設置した際に橋軸方向の挙動は阻害されないことが分かった。なお、橋軸直角方向に荷重が生じる条件では橋軸方向加速度が若干小さくなる可能性が示された。次報(その2)では、カウンターウェイトを偏心に配置した条件での加振結果について示す。

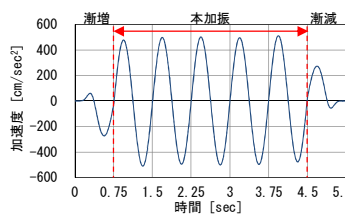


図-2 入力正弦波
(最大加速度 500cm/sec^2)

表-2 加振ケース一覧

試験名	試験体タイプ	最大加速度 $[\text{cm/sec}^2]$	
		X方向	Y方向
F _a	固定	0	500
F _b		200	500
F _c		200	300
F _d		200	0
B _a	ボール	0	450
B _b		200	450

表-3 Y方向の最大応答値一覧

試験名	フレーム加速度	フレーム変位	ダンパー変位	荷重	ダンパー累計変位	履歴吸収エネルギー	平均荷重
	cm/sec^2	mm	mm	kN	mm	$\text{kN} \cdot \text{m}$	kN
F _a	598.1	26.7	25.3	8.63	210.2	1.558	7.42
F _b	577.8	25.1	23.4	8.56	234.3	1.707	7.29
F _c	279.5	7.9	0.3	4.7	—	—	—
F _b /F _a	96.6%	93.9%	92.4%	99.2%	111.5%	109.6%	98.3%
B _a	506.8	19.9	18.2	7.79	165.4	1.095	6.62
B _b	612.0	51.7	48.8	8.26	689.4	4.339	6.29
B _b /B _a	120.7%	260.4%	267.7%	106.1%	416.9%	396.1%	95.0%

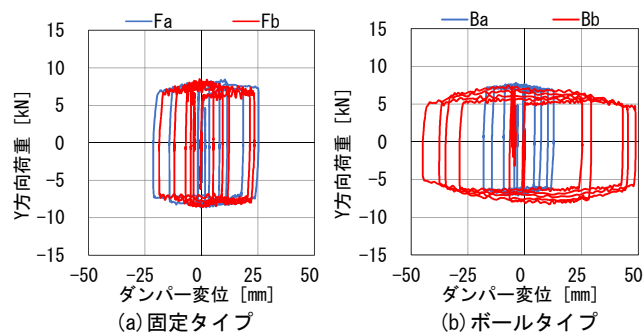


図-3 Y方向の荷重—変位関係

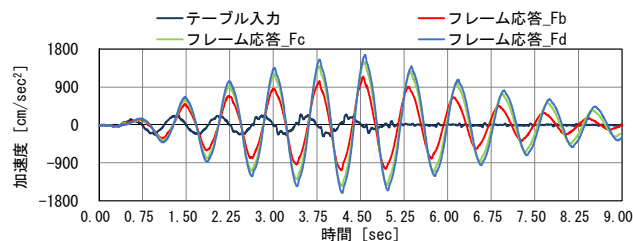


図-4 X方向の加速度時刻歴

表-4 X方向の最大応答値一覧

試験名	フレーム加速度	フレーム変位	平均荷重
	cm/sec^2	mm	kN
F _b	1152.7	166.1	1.44
F _c	1502.3	233.6	1.06
F _d	1658.1	261.3	0.96
F _b /F _d	69.5%	63.6%	150.1%
F _c /F _d	90.6%	89.4%	110.4%

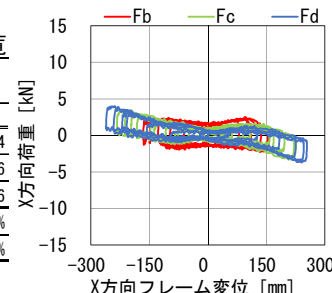


図-5 X方向の荷重—変位関係

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)山本一貴ほか：損傷制御を目的とした橋軸直角方向に設置する摩擦ダンパーの開発，土木学会第74回年次学術講演会，I-235，2019
4)木村浩之ほか：橋梁上部構造の挙動に追従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