

損傷制御を目的とした橋梁用摩擦ダンパーの大型振動台実験（その1：実験概要）

首都高速道路(株) 正会員 ○須田 郁慧 石原 陽介 非会員 副島 直史
 (一財)首都高速道路技術センター 正会員 山本 一貴 張 広鋒
 青木あすなろ建設(株) 正会員 波田 雅也 木村 浩之 山崎 彬 下村 将之

1. はじめに

首都高速道路は、緊急輸送道路として大規模地震後も機能を保つ必要があり、橋脚の損傷制御が必要となる。また、橋脚躯体や基礎構造が河川構造物や鉄道構造物等、他機関の構造物と近接または一体化している構造物も多く、大規模地震後にこれらを復旧するためには多大な時間を要することが想定される。対策のひとつとして、これまでに橋梁の橋軸直角方向に対する損傷制御を目的とした制震装置であり、L1 地震動時のサイドブロック機能と L2 地震動時のダンパー機能を両立できる摩擦ダンパー（ダイス・ロッド式ダンパー）を開発した^{1)~3)}。しかし、同ダンパーは両端がピン接合であり、橋軸方向に大きな変位が生じると、ダンパー荷重の作用軸が変化し、橋軸直角方向に作用する荷重が橋軸方向にも分散することで、橋軸方向の挙動に干渉する懸念がある（図-2 (a)）。そこで、橋軸方向に生じる変位に関係なく機能する「横変位摩擦ダンパー」を新たに開発した。本構造は、スライド板を配して上部構造桁付きブラケットで挟み込む機構（以下、スライド機構）としており（写真-1、図-1）、橋軸方向の挙動に干渉することなく、橋軸直角方向の荷重のみが適切に作用する（図-2 (b)）。先行研究^{4)~5)}では、実大静的載荷実験等により横変位摩擦ダンパーの実現可能性を確認した。本研究では、より実橋梁に近い条件下で動的挙動を確認することを目的として、国立研究開発法人土木研究所が所有する三次元大型振動台施設を用いて、正弦波や実地震波による多方向同時加振実験を行った。本報（その1）では、横変位摩擦ダンパーの機能と振動台実験の概要について示す。

2. 横変位摩擦ダンパーの3段階機能

横変位摩擦ダンパーは、完全剛塑性に近い履歴特性を利用し、作用する地震動の大きさに応じて図-3 に示す3段階の機能を発揮する。常時やL1 地震動時には、静止摩擦力によりダイス・ロッド間は摺動せず、サイドブロックの役割を果たす（図-3 (a)）。L2 地震動時には、上部構造慣性力がダイス・ロッド間の最大静止摩擦力に達してロッドが一定の動摩擦力で摺動することでダンパー（エネルギー吸収部材）として機能する（図-3 (b)）。さらに、設計地震動を上回る強度の地震動などによってダンパーがストロークエンドに達した場合は、横変位拘束構造として機能する（図-3 (c)）。

3. 大型振動台実験の概要

3.1 実験模型 実験模型の全景パースを図-4 に示し、上・下段ゴム支承を写真-2 に示す。実験模型は、1本のRC

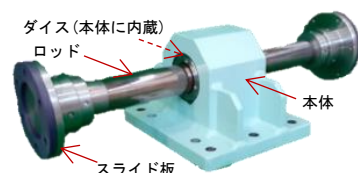


写真-1 横変位摩擦ダンパー

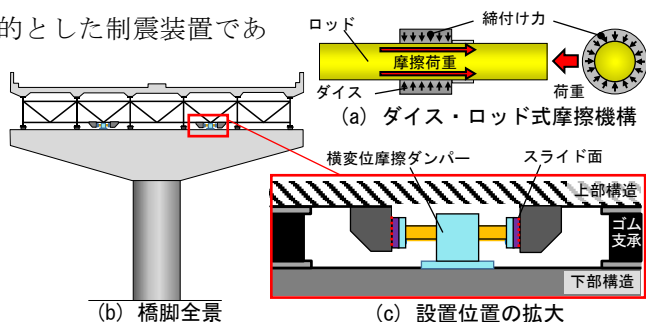


図-1 横変位摩擦ダンパー設置イメージ（橋軸直角方向）

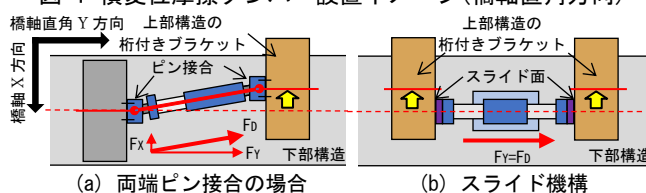


図-2 横変位摩擦ダンパーのスライド機構（橋軸X方向）

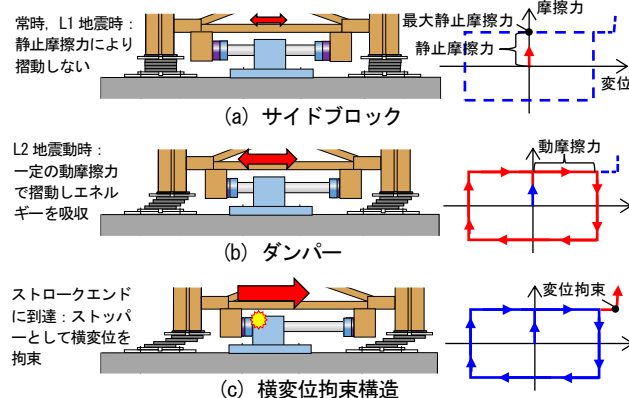


図-3 横変位摩擦ダンパーの3段階機能（橋軸直角Y方向）

キーワード 摩擦ダンパー、ダイス・ロッド式、制震、橋梁、振動台実験

連絡先 〒100-8930 東京都千代田区霞が関 1-4-1 首都高速道路(株) 技術部 技術推進課 TEL03-3539-9422

単柱橋脚(実橋モデル)の上・下部構造を模擬し、上段・下段フレームを4隅のゴム支承で支持した2段構造である。実験模型の諸元は、実橋モデルに対して加速度の相似率が1.0になるように、表-1に示す相似則に基づいて設定している。横変位摩擦ダンパー試験体は、上段と下段の層間の橋軸直角Y方向に設置する。

3.2 ダンパー試験体 横変位摩擦ダンパー試験体は、写真-3に示す500kN実大ダンパー(設計値:摩擦荷重500kN,ストローク±200mm)と、写真-4に示す100kN縮小ダンパー(設計値:摩擦荷重100kN,ストローク±180mm)の2種類とする。前者は、実大規模の動的挙動を確認し、後者は、設置数を1~3基(摩擦荷重:100~300kN)と変化させ、複数を並列配置した時の動的挙動や、摩擦荷重と応答低減効果の相関を確認する。100kNダンパーは、相似率に基づき実大に換算すると、摩擦荷重1100kN(=100×2.22³),ストローク±400mm(=180×2.22)に相当する。

3.3 入力波形 加振テーブルに入力する加速度波形は、1.0Hzの正弦波と、表-2に示す実際の観測地震波3波とする。実験条件や目的に応じて、入力方向数や加速度倍率、相似率を考慮した時間軸補正有・無の波形を使い分ける。

3.4 計測項目 主な計測項目と位置を図-5に示す。加速度XYZは、テーブルおよび上段・下段の中央付近にて計測し、上段・下段の層間変位XYZおよびY方向のダンパー変位は、非接触式のレーザー変位で計測する。上段ゴム支承と横変位摩擦ダンパーの荷重XYZは、直下に配した三分力計で計測する。データサンプリングの間隔は200Hz(0.005s)とし、ダンパー速度は変位を時間で微分することで算出する。

3.5 加振結果 結果の一例として、鷹取3方向加振時(X100%,Y150%,Z100%)の500kN実大ダンパーの荷重-変位関係を図-6に示す。横変位摩擦ダンパーは、初期剛性が極めて高く、正負とも約500kNで荷重が頭打ちとなる安定した剛塑性型の履歴を描いており、実地震動による3方向加振下において所定の履歴特性が発揮されることがわかった。

4. まとめ

本報では、横変位摩擦ダンパーのサイドブロック・ダンパー・横変位拘束構造の3段階機能と振動台実験の概要、加振結果の一例について示した。

【参考文献】 1) 波田雅也ほか: 摩擦ダンパーを用いた既設橋脚の地震時損傷制御技術の適用, 土木学会 インフラメンテナンス実践研究論文集, Vol.1, No.1, pp.261-268, 2022.3 2) 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, Vol.75, No.2, pp.95-110, 2019 3) 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報告集, Vol.39, No.2, pp.859-864, 2017.7 4) 下村将之ほか: 可動支承を有する橋脚の橋軸直角方向に適用する「横変位摩擦ダンパー」の開発, 土木学会第76回年次学術講演会, I-157, 2021 5) 木村浩之ほか: 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, その2 上部構造の回転による影響), 土木学会第76回年次学術講演会, I-158, I-159, 2021

表-1 実験模型の諸元

項目	単位	実験模型	備考
上段	重量	kN	525.6
	水平剛性	kN/mm	4.5
下段	重量	kN	94.0
	水平剛性	kN/mm	28.0
1次固有周期	s	0.74	1/√α
実橋モデルに対する相似率	変位	mm	1/2.22
	速度	cm/s	1/1.49
	加速度	cm/s ²	1
時間	s	1/1.49	1/√α

※上段重量は、カウンターウェイトを含む
※上段・下段の水平剛性は、各々ゴム支承4基の合計値
※相似率は実験模型/実橋モデルで表し、縮尺率α=2.22

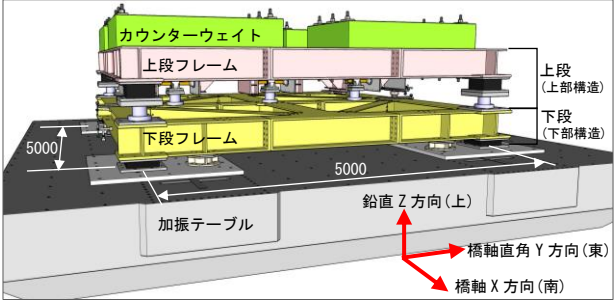


図-4 実験模型の全景パース

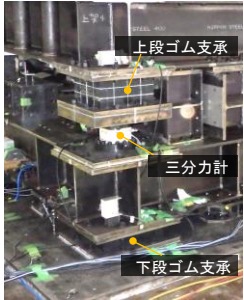


写真-2 ゴム支承

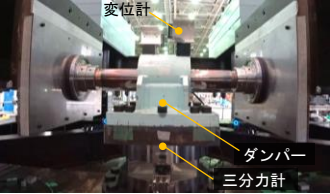


写真-3 500kN 実大ダンパー

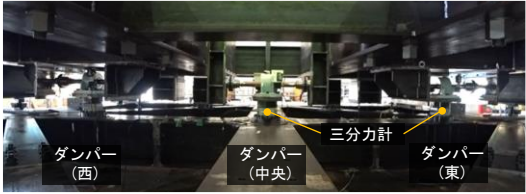


写真-4 100kN 縮小ダンパー×3 基並列設置

表-2 入力波形(地震波の加速度波形)の諸元

呼名	入力方向	最大加速度 cm/s ²	継続時間 s	入力倍率	実験で使用する観測地震波の情報		
					地震名(発生日) / 観測地点	地盤 方 角	波形の入手元
(a) 鷹取	橋軸X	666	40	20~100%	兵庫県南部地震 (1995. 1. 17) 兵庫県神戸市JR鷹取駅	Ⅱ種地盤	EW NS UD (財)鉄道総合研究所, 1995年兵庫県南部地震の地震動記録波形と分析 (I1), JR地震情報 No.23d, 1996. 3
	橋軸Y	642		20~170%			
	鉛直Z	290		100%			
(b) 築館	橋軸X	2700	120	60~70%	東北地方太平洋沖地震 (2011. 3. 11)	Ⅰ種地盤	NS EW UD 防災科研K-NET, KiK-net (NIED K-NET, KiK-net) https://www.doi.org/10.17598/NIED.0004
	橋軸Y	1270		60~150%			
	鉛直Z	1880		100%			
(c) 厚真	橋軸X	648	40	70~100%	北海道胆振東部地震 (2018. 9. 6)	Ⅲ種地盤	NS EW UD 気象庁 強震観測データ (2018/9/6胆振地方中東部の地震)
	橋軸Y	838		20~100%			
	鉛直Z	326		100%			

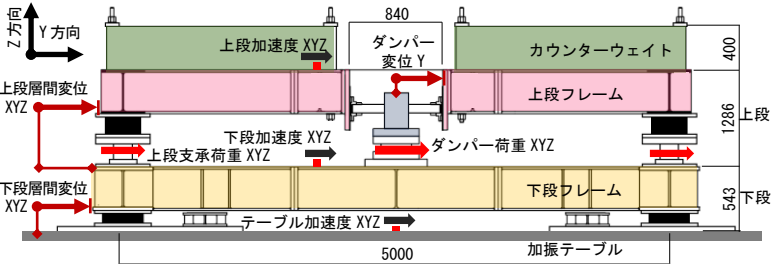


図-5 計測項目と位置(500kN 実大ダンパーのセット図)

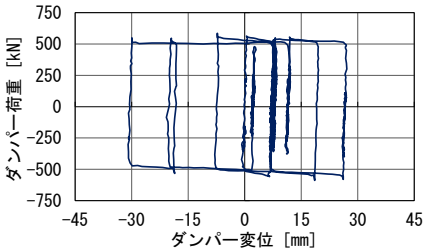


図-6 ダンパー荷重-変位関係 (鷹取: X100%, Y150%, Z100%)