

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2：基本特性（正弦波））

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

首都高速道路(株) 非会員 副島 直史 正会員 石原 陽介 須田 郁慧

(一財)首都高速道路技術センター 正会員 山本 一貴 張 広鋒

1. はじめに

筆者らは、橋梁の橋軸直角方向の損傷制御を目的とした制震装置として、橋軸可動側の支承部に適合する「横変位摩擦ダンパー」を開発している(写真-1)。本研究は、



写真-1 横変位摩擦ダンパー

実橋梁に設置した状況に近い条件下で横変位摩擦ダンパーの動的挙動を確認するために行った大型振動台実験に関するものである(写真-2)¹⁾。本報(その2)では、横変位摩擦ダンパーの基本特性として、橋軸直角 Y 方向の3段階機能(サイドブロック, ダンパー, 横変位拘束構造)および橋軸 X 方向のスライド機構を確認するために行った2方向正弦波加振の結果について示す。

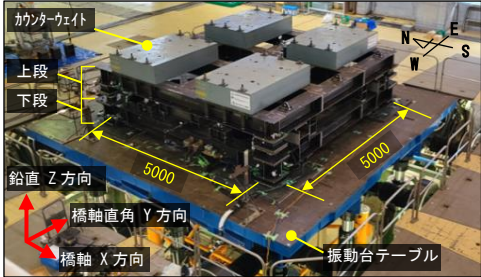


写真-2 振動台実験の状況(全景)

2. 加振条件

実験模型やダンパー試験体の概要は、既報(その1)¹⁾を参照されたい。本報で着目する入力波形(振動数1.0Hz, 漸増1+目標5+漸減1=計7サイクルの正弦波)を図-1に、加振ケースを表-1に示す。また、着目する応答値を図-2に示す。支承の固定・可動条件、使用するダンパー試験体(500kN 実大ダンパー)、

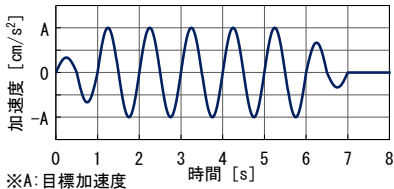


図-1 入力波形(テーブル加速度)

表-1 加振ケース一覧

共通 条件	支承 条件	上段	橋軸X方向：M(可動)、橋直Y方向：M(可動)＋ダンパー							
		下段	加振テーブルと下段フレームを固定治具で緊結し、一体化							
	ダンパー	摩擦荷重500kN、ストローク±200mmの実大ダンパー								
	入力波形	正弦波(1.0Hz、漸増1+目標5+漸減1＝計7サイクル)、XY同時								
目標加速度		X	300							
[cm/s ²]		Y	0	300	600	900	1000	1100	1200	1500
ケース名		Y0	Y300	Y600	Y900	Y1000	Y1100	Y1200	Y1500	
確認する 基本特性	X：スライド機構									Y：横変位 拘束構造
	Y：サイドブロック				Y：制震装置					

方向の入力加速度 300cm/s²を共通条件として、Y 方向の入力加速度 0,300,600,900,1000,1100,1200,1500cm/s²の計8ケースに着目する。ケース名は、Y 方向加速度を用いて、表記載のとおり Y0～Y1500 と称す。実験模型の上段重量が約 500kN であり、ダンパー試験体の摩擦荷重も 500kN であるため、上段の加速度がおおよそ 1000cm/s²に達すると、ダンパーが摺動し始めることが想定される。したがって、Y0,Y300,Y600,Y900 はサイドブロック機能の確認用、Y1000,Y1100,Y1200 はダンパー機能の確認用の加振ケースである。また、Y1500 は、ストロークエンドに達した後の横変位拘束構造としての機能が、動的加振下において正常に発揮されるか確認するための加振ケースである。さらに、Y 方向加速度の異なる Y0～Y1200 について、X 方向の応答を比較することにより、Y 方向応答の大小にかかわらず X 方向のスライド機構が正常に機能するか確認する。着目する応答値は、橋軸直角 Y 方向についてはダンパー荷重とダンパー変位・上段層間変位とし、橋軸 X 方向についてはスライド荷重と上段層間変位 X とする(図-2)。

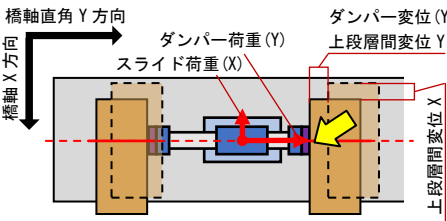


図-2 着目する応答値

3. 加振結果

3.1 サイドブロックとダンパー Y900 と Y1200 のダンパー荷重－変位関係を図-3に示す。また、Y0～Y1200の橋軸直角 Y 方向の最大応答値を棒グラフで比較して図-4に示す。図-3と図-4(a)より、Y0～Y900の4ケースでは、いずれもダンパー荷重が 500kN 未満で、かつダンパー変位が概ね 1.0mm 未満で固定状態を維持し、横変位摩擦ダンパーがサイドブロックとして正常に機能した。Y1000～Y1200の3ケースでは、ダンパー荷重が 500kN に達

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 〒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

して頭打ちとなり、ダンパー変位が生じて、摩擦型特有の完全剛塑性に近い履歴特性を発揮するダンパーとして正常に機能した。なお、入力加速度が大きいほどダンパー変位が大きく、同様にダンパー速度とエネルギー吸収量も大きくなった(図-4(b))。

3.2 横変位拘束構造 Y1500 について、ダンパー荷重とダンパー変位の時刻歴波形を図-5 に、ダンパー荷重-変位関係を図-6 に示す。また、最大応答値の一覧を表-2 に示す。図-5 より、正負ともダンパー荷重が約 500kN で頭打ちとなってダンパー変位が生じ始め、さらに正負交互に繰返すたびに変位が大きくなった。2 秒～4 秒にかけて、正側で 2 回、負側で 1 回、 $\pm 200\text{mm}$ のストロークエンドに到達し、ダンパー荷重が急増した。また、図-6 より、ダンパー変位(青線)のストロークエンド到達と同時に、上段層間変位(赤線)も約 200mm で拘束されており、横変位摩擦ダンパーが横変位拘束構造として正常に機能した。ストロークエンドに達した $\pm 200\text{mm}$ 振幅において、ダンパー荷重が約 300kN となり、摩擦荷重 500kN の 6 割程度に減少した。これは、表-2 に示すようにダンパー速度が最大約 250cm/s に達していることから、速度依存性によるものと考えられる²⁾。なお、5 秒手前に加振が終了したのは、横変位を拘束した際の衝撃によって、振動台テーブルの加速度が制限値 5000 cm/s^2 に達したことで、振動台の安全装置が作動したためである。

3.3 スライド機構 Y0, Y900 および Y1200 のスライド荷重-上段層間変位 X 関係を図-7 に示す。また、Y0～Y1200 の橋軸 X 方向の最大応答値を棒グラフで比較して図-8 に示す。図より、スライド荷重は、Y 入力加速度が 900 cm/s^2 以下のケースでは入力加速度の増大に応じて大きくなり、 1000 cm/s^2 以上のケースでは $\pm 50\text{ kN}$ 程度で頭打ちになった。スライド面の摩擦係数 μ ($=$ スライド荷重/ダンパー荷重)は、概ね $\mu=0.1$ 程度であった。また、

上段層間変位 X は、Y 入力加速度が $0\sim 1200\text{ cm/s}^2$ と異なるにもかかわらず、いずれも最大応答値が $55\sim 60\text{ mm}$ で同程度の値であった。すなわち、橋軸 X 方向の応答性状に対して、ダンパーを効かせる橋軸直角 Y 方向の入力および応答性状が殆ど影響しなかったことから、横変位摩擦ダンパーのスライド機構が期待通りに機能したといえる。

4. まとめ

本報では、2 方向正弦波加振により、横変位摩擦ダンパーの基本特性(橋軸 X 方向：スライド機構、橋軸直角 Y 方向：サイドブロック・ダンパー・横変位拘束構造)が正常に機能することを示した。

【参考文献】 1) 須田郁慧ほか：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)，土木学会第 78 回年次学術講演会，(2023 掲載予定) 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

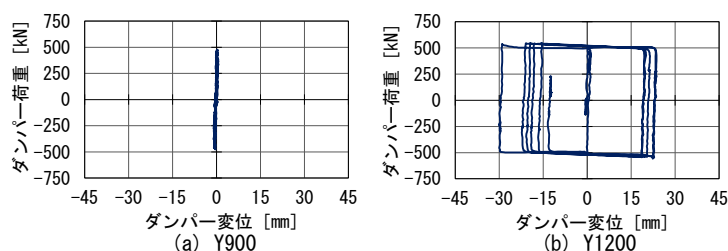


図-3 Y900, Y1200 のダンパー荷重-変位関係

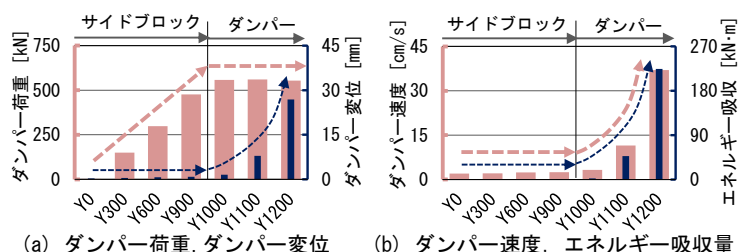


図-4 橋軸直角 Y 方向の最大応答値

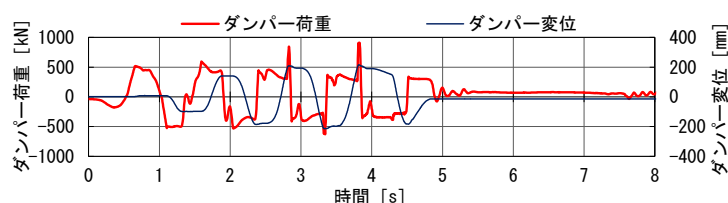


図-5 Y1500 のダンパー荷重、ダンパー変位時刻歴波形

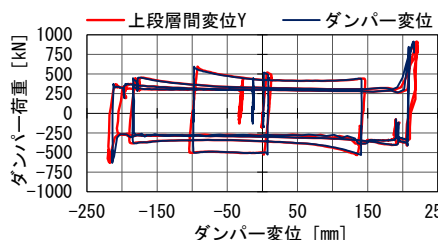


図-6 Y1500 のダンパー荷重-変位関係

表-2 橋軸直角 Y 方向の最大応答値一覧 (Y1500)

項目	単位	正	負
ダンパー荷重	kN	914	-631
ダンパー変位	mm	216	-215
上段層間変位	mm	221	-221
ダンパー速度	cm/s	236	-250
エネルギー吸収	kN・m	849	-

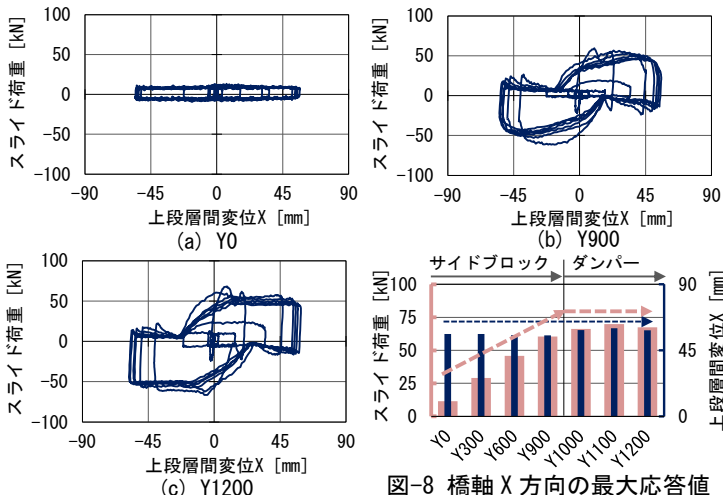


図-7 Y0, Y900, Y1200 のスライド荷重-変位関係

図-8 橋軸 X 方向の最大応答値