

### 皿バネボルトセットを用いた摩擦型ダンパーの速度依存性

(株)大林組 正会員 早川 智浩 正会員 武田 篤史 佃 有射  
 東日本高速道路(株) 正会員 鈴木 雄吾 正会員 金田 和男

#### 1. はじめに

皿バネボルトセットを用いた摩擦型ダンパー(以下、ブレーキダンパーと称す)は、摩擦力によりエネルギーを吸収することで、地震時の揺れを抑える制振装置であり<sup>1)</sup>、既設トラス橋の斜材として用いることで地震時の斜材の変形や座屈を防ぐとともに、橋梁全体の震動を低減する効果がある。これを関越自動車道片品川橋の耐震補強工事に適用するにあたって、想定される応答波形に対する性能の検証が必要であった。本研究は、片品川橋梁の応答波形を用いて、地震応答波の最大速度と減衰性能の関係を把握することを目的として実験を行った。

#### 2. ブレーキダンパー

ブレーキダンパーの基本構成を図-1に示す。ブレーキダンパーは、貫通したボルトで摩擦面における垂直抗力を発生させ、皿バネにより垂直抗力を安定させた下で、鋼板を左右に変形させた際にブレーキ材とステンレス板の間に摺動して摩擦を発生させるものである。

本実験では、設計減衰力 200kN、設計ストローク±130mm に対して摩擦面2面、皿バネユニット2個としたブレーキダンパーを使用した。本実験で用いたブレーキダンパーの写真を図-2に示す。

#### 3. 実験方法

実験は、図-3に示すように反力フレームの固定治具に取付けた試験体と 500kN 高速サーボ試験機を固定して実施した。高速サーボ試験機は、最大ストローク±300mm、最大速度 150kine でストローク制御方式のものを使用した。

入力した地震応答波は、図-4に示す片品川橋の設計地震動<sup>2)</sup>に対する各部材の応答波から最大速度、最大変位、入力地震動の異なるケースを満遍なく20波形選択した。20波形の最大速度 $v$ は8.9~123.3kine、最大変位は12.0~100.3mm、疑似振動数( $v/\delta/2$ )は0.9~3.2Hzであった。

#### 4. 実験結果の評価

実験結果の評価は、式(1)に定義する平均減衰力比  $R_p$  で行った。

$$R_p = P_{eq} / P_0^{ave} \tag{1}$$

ここに、 $P^{eq}$ ：各地震波における最大変位直前の1/2周期に対する履歴吸収エネルギー量を変位振幅で除して求めた等価減衰力(図-5)、 $P_0^{ave}$ ：平均減衰力摩擦材新品に行った最大変位±40mm、最大速度5kineの正弦波20波の試験における各サイクルの等価減衰力平均。

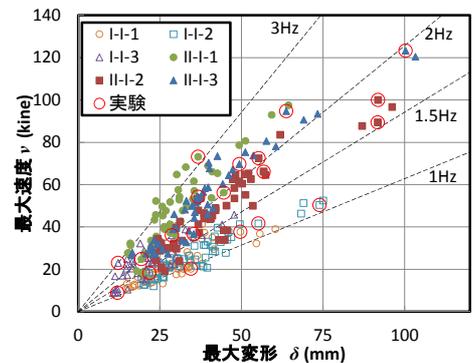
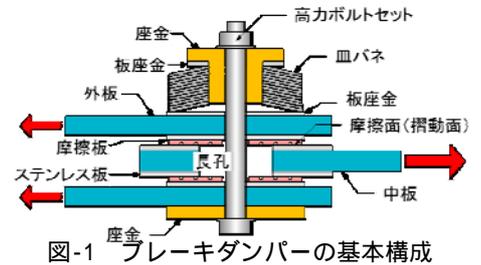


図-4 全応答波形の最大速度と最大変位の関係

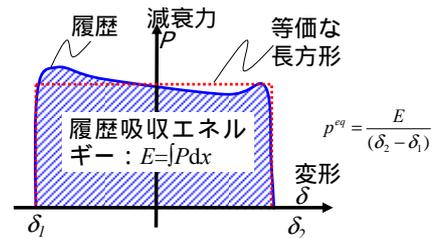


図-5 等価減衰力

キーワード 制振橋梁, 摩擦型ダンパー, 速度依存性, 減衰力

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟 (株)大林組生産技術本部橋梁技術部 TEL03-5769-1306

5. 実験結果

図-6, 7 は最大速度 8.9kine および最大速度 123.3kine の地震応答波の载荷より得られた減衰力 - 変形関係である .8.9kine の加振と比べて ,123.3kine の载荷は明らか履歴吸収エネルギーが小さくなっており ,地震応答波に対する減衰力は ,最大速度の増加に従って小さくなると推測される .

図-8 に平均減衰力比  $R_p$  と最大速度の関係を示す . 図には , 参考のため最大速度をパラメータとしてストローク ±120mm で 10 サイクルの正弦波载荷を行った実験結果を示している . 地震応答波に対する平均減衰力比  $R_p$  は正弦波に対するものより大きいことがわかる . 正弦波载荷における摩擦熱の蓄積や ,地震応答波においては最大速度が一瞬であること ,地震応答波においては最大変形が片振幅のみで発生することなどが原因と考えられる .

地震応答波载荷の平均減衰力比  $R_p$  と最大速度  $v$  の関係からは右肩下りの関係が見られる . これを直線で近似すると , 図-9 の赤線で示す関係が得られ , 式(2)として表すことができる . この時 , 決定係数  $R^2$  は 0.272 であった .

$$R_p = 0.00129v + 1.11 \quad (1)$$

一方 , 本関係を設計に取り込むためには , ばらつきを安全側に考慮しなければならない . 一般に , 取付け部材などの設計においては , 減衰力の上限を考慮しなければならないが , 橋梁全体応答の検討においては , 減衰力の下限で考慮するのが安全側となる . そこで , 図-9 の緑線で示すように , 式(1)と同じ傾きで下限値を通る直線を設計式とした . ただし , 20kine 以下では 1.0 を上回るため 1.0 とした . 設計式(2)を次式に示す .

$$P_{d(eq)}/P_s = \begin{cases} 1.0 & (v \leq 20kine) \\ -0.0013v + 1.026 & (v > 20kine) \end{cases} \quad (2)$$

ここに ,  $P_{d(eq)}$  : 地震時設計減衰力 ,  $P_s$  : ブレーキダンパーの定格減衰力で , 最大速度 5kine の正弦波 20 波の試験における各サイクルの等価減衰力平均で検査 .

また , 片品川橋の応答波形のうちの 2 波形に対しては , 時間軸を 0.36 ~ 2.00 倍とした実験も行った . 結果を図-10 に示す . 時間軸を変えても , 回帰式である式(1)の近傍にプロットされており , また , 設計式である式(2)で安全側に評価できることがわかる . 従って , 式(2)は片品川橋だけでなく , 固有振動数などが異なる他の橋梁に対しても適用可能であることが推測される .

6. まとめ

片品川橋の応答波形を用いてブレーキダンパーの動的加力実験を行い , 地震時減衰力の検討を行った . 検討の結果 , 地震応答波の最大速度と減衰性能の関係を整理することで , 安全側に評価できることがわかった .

参考文献 1) 鈴井ら : 多様な要求性能を実現する「ブレーキダンパー®」, 大林組技術研究所報 , No.76 , 2012 , 2) (社)日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説 耐震設計編 , 2012.4

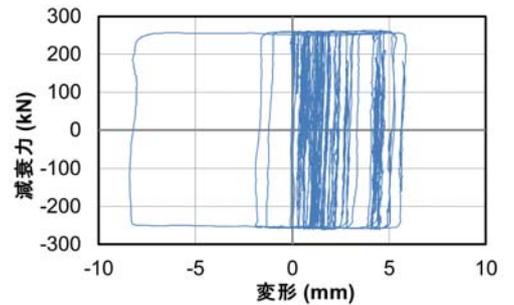


図-6 減衰力-変形関係 (最大速度 8.9kine)

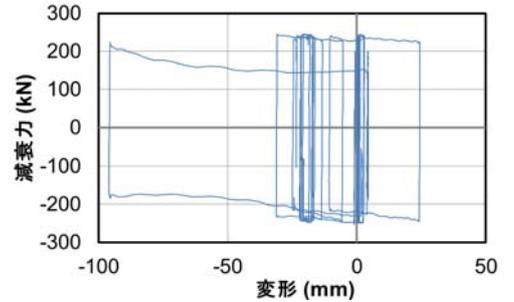


図-7 減衰力-変形関係 (最大速度 123.3kine)

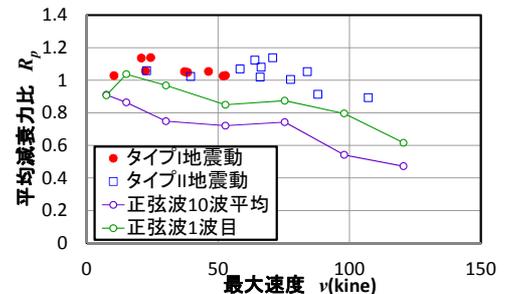


図-8 平均減衰力比と最大速度の関係

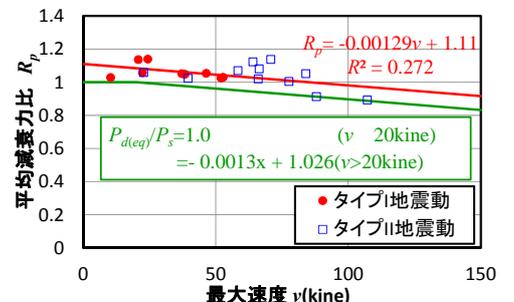


図-9 回帰式と設計式

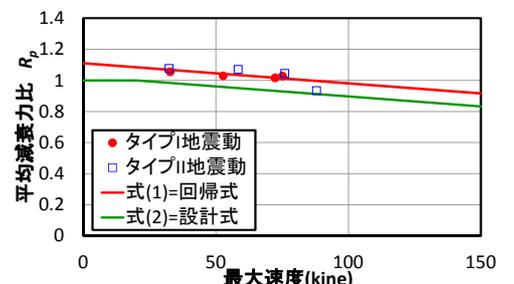


図-10 時間軸を変化させた実験結果