

摩擦型ダンパーを設置した橋梁系振動台実験のシミュレーション

(株)大林組 正会員 ○武田 篤史
(株)大林組 フェロー 野村 敏雄

(株)大林組 正会員 田中 浩一
(株)大林組 フェロー 伊奈 義直

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、図-1 に示す基本構成を有し、コストやメンテナンスの面で優れたダンパーである。本報は、ブレーキダンパーを設置した橋梁全体系の振動台実験¹⁾に関して解析を行い、ブレーキダンパーのモデル化に関して検討を行ったものである。

2. 橋梁系振動台実験概要

実験は図-2 に示すとおり、振動台上に2組の橋梁系モデルを設置し、一方のみにブレーキダンパーを取付けて行った。橋脚模型はRCとし、引張鉄筋比1.26%、帯鉄筋比0.21%、 $a/d=7.3$ の曲げ破壊型である。橋台模型は剛体を仮定できる断面となるよう鉄骨により作製した。相似則は、ブレーキダンパーの速度依存性を考慮して速度の相似比を1とし、搭載能力や加振能力から加速度の相似比は3と定めた。相似則および振動特性を表-1にまとめる。

ブレーキダンパーは、最大減衰力が上部工重量の0.3倍(プロトタイプで0.1倍)となることを目安として、27kN(緩速載荷時)のものを2基並列に用いた。それぞれのブレーキダンパーは皿バネボルトユニット2個および摩擦面2面を有し、ボルトの締め付け力は18.5kNとしている。

入力地震波は、道路橋示方書²⁾に示されるL2地震動タイプI(II種地盤-3)およびL2地震動タイプII(II種地盤-2)を、相似則に従って調整したものとした。

3. ブレーキダンパーの特性

振動台実験に先立って、ブレーキダンパー単体の特性試験を行った。試験は、振動数0.25、0.5、1.0、1.5、2.0(Hz)の5ケースをパラメーターとし、振幅100mmの正弦波を3波与えた。

試験結果の例として、0.25Hzおよび2.0Hzの減衰力-変位関係を図-3に示す。両者とも、おおむね長方形であり、良好な減衰を得ることができているものの、振動数が大きくなることにより、減衰力-変位関係のループは長方形から鼓型に変わり減衰性能が若干小さくなることがわかる。そこで、図-4に示す履歴吸収エネルギーが等価となる長方形に置き換えた平均減衰容量 P_{ave} (kN)と最大速度 v_{max} (kine)の関係を図-5に示す。図-5より式(1)の関係が得られた。

$$P_{ave} = -0.128v_{max} + 52.3 \quad (1)$$

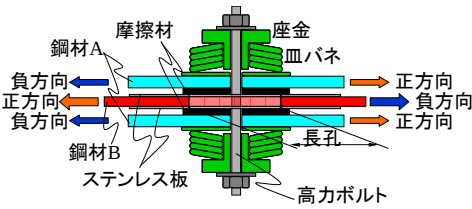


図-1 ブレーキダンパーの基本構成 (皿バネボルトユニット)

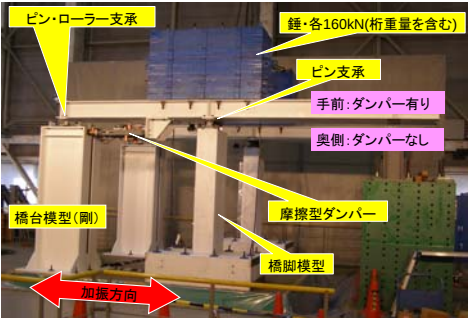


図-2 実験概要

表-1 相似則および振動特性

	記号	相似比	プロトタイプ	実験
水平変位	β	0.33		
水平速度	1	1.00		
水平加速度	$1/\beta$	3.00		
時間	β	0.33		
固有振動数(Hz)	$1/\beta$	3.00	1.00	3.00
降伏震度	$1/\beta$	3.00	0.38	1.15
ダンパー震度	$1/\beta$	3.00	0.10	0.30

※相似比は実験スケール/プロトタイプスケール
※固有振動数は降伏時割線剛性による

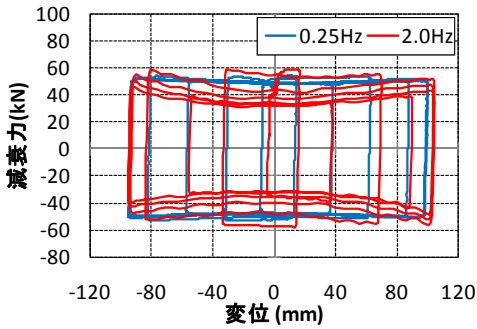


図-3 ダンパーの減衰力-変位関係

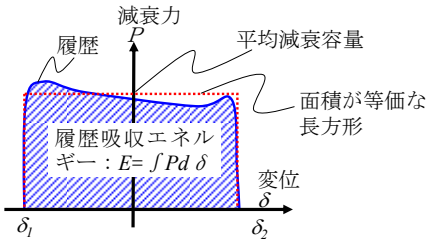


図-4 平均減衰容量

4. 解析概要

解析モデルは、図-6 に示すとおり、橋脚部分を 2 次元 FEM モデルとし、ダンパー部分は橋脚天端と固定点をつなぐバネモデルとした。入力には、振動台上で計測された加速度波形を用い、時刻歴解析を行った。

ダンパーは、バイリニアモデルとし、初期剛性はホワイトノイズ加振により得られた 14.2kN/m とし、2 次剛性は 0 とした。降伏強度には実験で得られた最大速度から式(1)により算定した平均減衰容量(タイプ I : 45.6kN, タイプ II : 36.9kN)を用いたが、比較のためダンパー特性試験で得られた最大減衰容量(54.5kN)によるケースも実施した。

5. 解析結果

図-7~10 に解析により得られた橋脚模型天端における荷重-変位関係を示す。

L2 地震動タイプ I に対して(図-7, 8)は、橋脚模型の降伏変位が 37.2mm であるため、橋脚模型は降伏しておらず、ほぼすべてのエネルギー吸収はダンパーによるものである。ダンパー降伏強度による差は、大きくは見られず、いずれの解析も実験結果とよく適合したが、図-8 に示す最大減衰容量を用いたときのループは若干大きめであり、平均減衰容量を用いるほうが妥当である。

L2 地震動タイプ II に対して(図-9, 10)は、バイリニアに若干紡錘形のふくらみが足された形状であり、エネルギー吸収のほとんどをダンパーが受け持っていることがわかる。ダンパー降伏強度として最大減衰容量を用いた場合(図-9)の解析結果は、実験結果とよく適合しており、ダンパーをバイリニアモデルとして解析できることがわかる。一方で、降伏強度として、最大減衰容量を用いた場合は、特に負側で変位が小さくなっており、実験結果とは適合しないことがわかる。

6. まとめ

ブレーキダンパーのモデル化に対する知見を得ることを目的として、橋梁全体系振動台実験の動的解析を行った。その結果、ダンパーはバイリニアモデルとして表せること、および、その際の降伏強度には速度依存性を考慮しなければならないことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 野村・武田・新倉・加藤：皿バネボルトセットを用いた摩擦型ダンパーを設置した橋梁系模型の振動台実験，土木学会第 65 回年次学術講演会，2010. 9.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002. 3

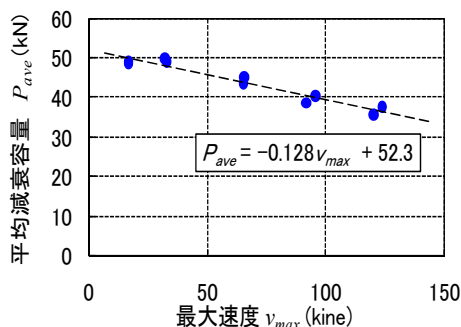


図-5 平均減衰容量と最大速度の関係

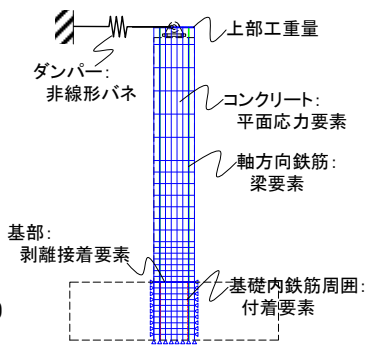


図-6 解析モデル

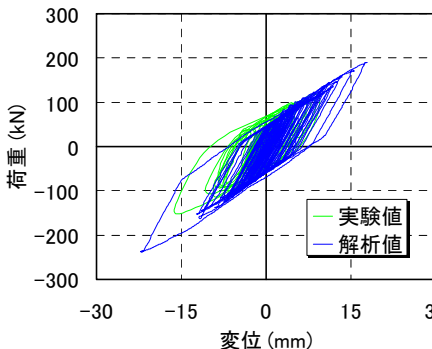


図-7 荷重-変位関係
L2 地震動タイプ I
降伏強度=45.6kN(平均減衰容量)

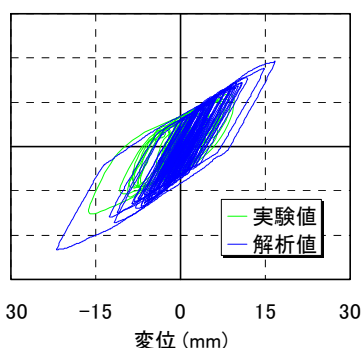


図-8 荷重-変位関係(T1-1-2)
L2 地震動タイプ I
降伏強度=54.5kN(最大減衰容量)

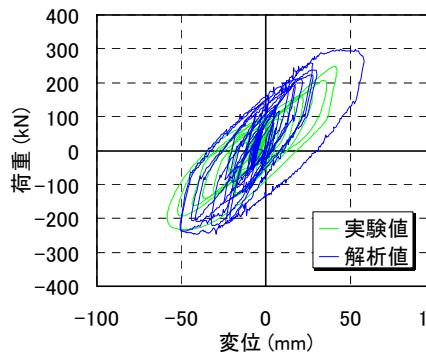


図-9 荷重-変位関係(T2-1-1)
L2 地震動タイプ II
降伏強度=36.9kN(平均減衰容量)

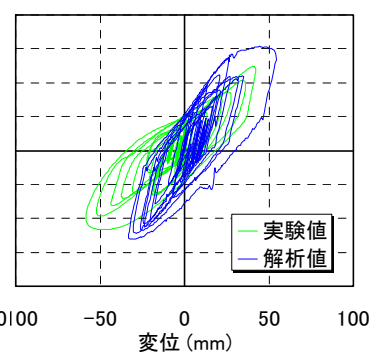


図-10 荷重-変位関係(T2-1-2)
L2 地震動タイプ II
降伏強度=54.5kN(最大減衰容量)