

非対称摩擦型ダンパーの地震時減衰力容量

(株) 大林組 正会員 ○武田 篤史 正会員 佃 有射

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¹⁾(以下、「対称摩擦型ダンパー」と呼ぶ)を基本として、図-1に示すように傾斜摺動面を含む楔材を用い、制震用摩擦面に作用する垂直抗力を変化させることで圧縮側と引張側が異なる減衰力容量を示す「非対称摩擦型ダンパー」を考案し、既報において、構造の成立条件と最小構成で構造成立性を確認した実験結果を示した²⁾。

対称摩擦型ダンパーには、減衰力の速度・繰り返し数依存性があり、評価式(1)により地震時減衰力容量を求めている。

$$\mu_{cal} = \begin{cases} -0.016v_{max} + 0.396 & (v_{max} \leq 107) \\ 0.225 & (v_{max} > 107) \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 μ_{cal} : 摩擦係数の計算値
 v_{max} : 最大速度(kine)

非対称摩擦型ダンパーにおいても、速度・繰り返し数依存性を考慮した地震時減衰力容量を評価する必要がある。そこで、本研究では、実験を実施して地震時減衰力容量の評価を行った。

2. 非対称摩擦型ダンパー

実験には、高減衰力側(圧縮側)の減衰力容量が約 600kN、設計ストローク±250mm、摩擦面数 2 面、皿バネボルトセット数 12 個のダンパーを用いた。低減衰力側(引張側)の減衰力容量は 600kN から機構による減衰力容量変動量を減じた値となる。楔材は表-1 に示す通り傾斜角 $\tan\theta=0.10$ とし、相対変形量 $\Delta h=4.0, 6.4\text{mm}$ の 2 種類を使用した。

3. 実験方法

実験は、図-2 に示す通りダンパーの両端を、振動台上および振動台基礎上の反力治具に固定し、振動台に地震応答波を強制変位で与えることにより行った。

入力した地震応答波は、ダンパーを上部構造と橋台の間に左右対称に挿入することを想定して、図-3 に示す 1 質点系モデルの地震応答解析を行って作成した。橋脚バネはひび割れ荷重を 0 とした Takeda モデル³⁾により、ダンパーバネはバイリニアモデルにより非線形性を考慮した。地震応答解析の入力条件は、表-2 に示すパラメータの全組合せとした。橋脚固有振動数は、ダンパーを考慮しないときの固有振動数である。ダンパーバネの減衰力容量は上部構造重量の 0.2 倍とした。ダンパーの摺動開始変位は、対称摩擦型ダンパーの実績値に楔材の水平移動量を加えて 15 mmとした。粘性減衰は、橋脚バネに関してのみ考慮することとし、I 種地盤および II 種地盤では $h=0.1$ 、III 種地盤では $h=0.15$ とした⁵⁾。全 162 ケースより解析パラメータが偏らないように、A-64 に対しては 12 波形、A-40 に対しては 6 波形を選定し、A-64 に対しては選定した 12 波形の圧縮と

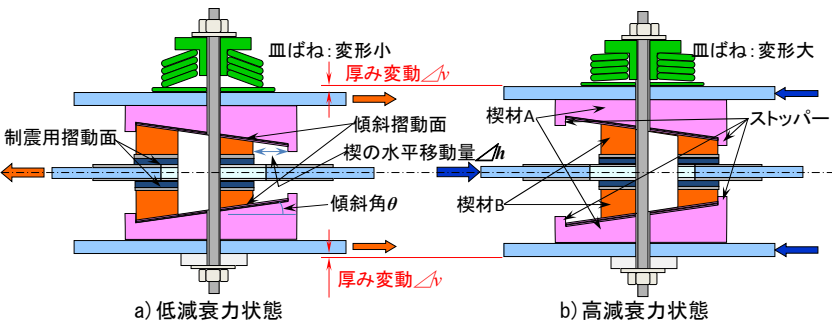


図-1 非対称摩擦型ダンパーの基本構成

表-1 使用した楔材

試験体名	傾斜角 $\tan\theta$	水平移動量 Δh (mm)	厚み変動 Δv (mm)
A-40	0.10	4.0	0.40
A-64	0.10	6.4	0.64

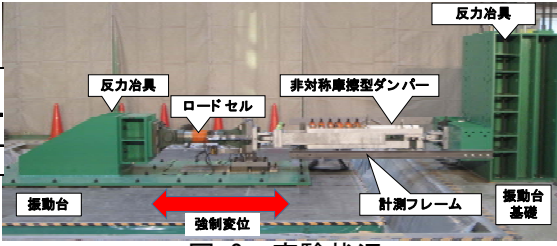


図-2 実験状況

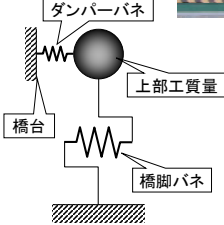


図-3 解析モデル

表-2 地震応答解析パラメータ

入力地震動 ⁴⁾	L2地震動タイプ I、L2地震動タイプ II
地盤種別 ⁴⁾	I 種、II 種、III 種
波形 ⁴⁾	各 3 波形
橋脚固有振動数	0.7Hz、1.0Hz、1.5Hz
橋脚降伏震度	0.3、0.5、0.8

キーワード 制震橋梁、摩擦型ダンパー、非対称減衰力容量、制震デバイス

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株) 大林組技術研究所 TEL 042-495-1111

引張を反転させた波も入力した．入力した波形の応答速度は 55.4～110.4kine，応答変位は 54.2～236.8 mmである．

4. 実験結果の評価方法

実験結果は式(2)に定義する平均減衰力容量比 R_p で評価した．

$$R_p = P_{ave} / P_{0_ave} \quad (2)$$

ここに， P_{ave} ：各地震波における最大変位直前および直後の 1/2 周期に対する平均減衰力容量（図-4）， P_{0_ave} ：静的载荷に対する平均減衰力容量．静的試験は，振幅±250 mm，最大速度 7.8kine の正弦波 5 波を入力して行った．平均減衰力容量 P_{ave} を算定する際の設計摺動開始変位 δ_{dy} は対称摩擦型ダンパーの設計値⁶⁾6.4mm に楔材の水平移動量 Δh を加えた値とした．

5. 実験結果

減衰力と変位の関係の例を図-5 に示す．いずれのケースも最大速度の大きい载荷では減衰力が小さくなっており，非対称摩擦型ダンパーが速度依存性を有することがわかる．

平均減衰力比 R_p と最大速度の関係を図-6 に示す．図には，評価式(1)および評価式(1)を基に決めた設計式¹⁾を平均減衰力比に換算したものを示す．実験結果は，両試験体ともに圧縮側，引張側で顕著な傾向の違いはなく，全ての点で対称摩擦型ダンパーの評価式，設計式を上回っている．これは，本摩擦型ダンパーは摩擦熱によって摩擦材の特性が変化して減衰力が低下するが，非対称摩擦型ダンパーは低減衰力側での発熱が小さいため，対称摩擦型ダンパーと比べて減衰力の低下が小さくなったものと考えられる．実験結果には平均減衰力比が 1.0 を上回るものが見られるが，これは平均減衰力容量 $P_{ave} = E / (\delta_2 - \delta_1 - \delta_{dy})$ の計算において，設計摺動開始変位 δ_{dy} が実際の摺動開始変位よりも大きいことの影響であり，振幅が小さい時に顕著となる．

以上より，本ダンパーは対称摩擦型ダンパーに対する評価式(1)より大きな減衰力を示すことから，対称摩擦型ダンパーと同様の地震時減衰力容量を用いることで安全側の設計を行うことが可能である．

5. まとめ

圧縮側と引張側で減衰力容量が異なる「非対称摩擦型ダンパー」の地震応答波载荷試験を行って地震時減衰力容量を評価した．本ダンパーの速度・繰り返し数依存性は対称摩擦型ダンパーの地震時減衰力容量を用いることで安全側の設計が可能であることが確認できた．

参考文献 1) 武田篤史ら：皿バネボルトセットを用いた摩擦型ダンパーの性能評価，構造工学論文集 Vol.58A，pp.492-503，2012.3 2) 武田篤史：減衰力が非対称である摩擦型ダンパーの基礎的検討，性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，第 19 回，pp.9-14，2016.7 3) Takeda et al: Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.96, No.ST12, 1970.12. 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012.4. 5) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，鉄道総合技術研究所 編，丸善株式会社，1999.11 6) (財)先端建設技術センター：先端建設技術・技術審査証明報告書 橋梁用ブレーキダンパー，2012.8.

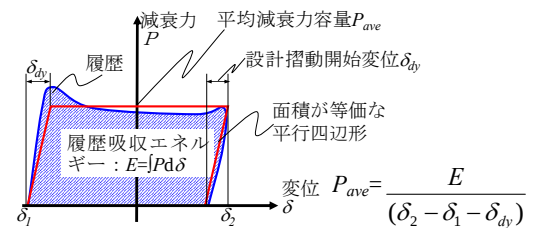
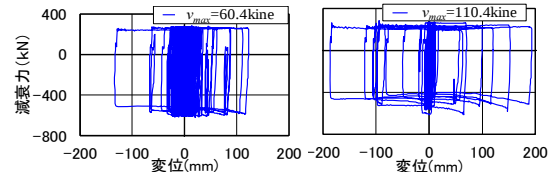
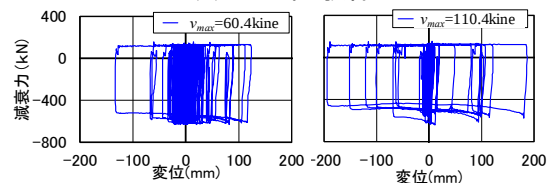


図-4 平均減衰力容量の算定方法

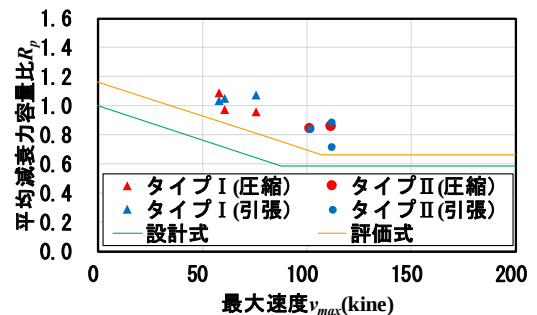


(a) A-40 試験体

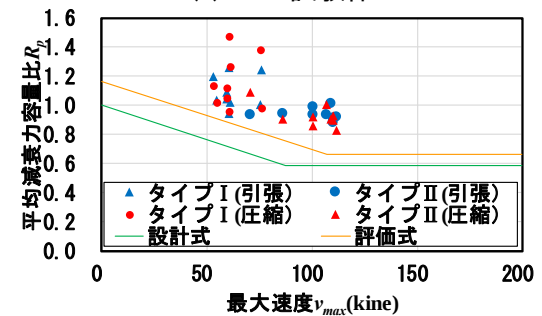


(b) A-64 試験体

図-5 減衰力-変位関係



(a) A-40 試験体



(b) A-64 試験体

図-6 平均減衰力比と最大速度の関係