

皿バネボルトセットを用いた摩擦型ダンパーにおける地震時摩擦係数の評価

(株)大林組 正会員 ○武田 篤史 (株)大林組 フェロー 伊奈 義直
スターライト工業 (株) 出羽 保孝

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、コスト面やメンテナンス面のメリットから建築構造物においては、すでに実用化されている¹⁾。著者らは、橋梁で用いることが可能なように大ストローク化、大容量化を行い、速度依存性や振幅依存性を把握し、地震波に応じた摩擦係数評価の必要性について報告している²⁾。本論文は、ブレーキダンパーに地震応答波を入力した実験結果より、設計用の地震時摩擦係数を評価しようとするものである。

2. ブレーキダンパー 本研究で用いたブレーキダンパーの基本構成を図-1に示す。鋼板を左右に引張ることにより、ブレーキ材とステンレス板の間が摺動して摩擦を発生させる。摩擦面における圧力は貫通したボルトで発生させ、皿バネによりその圧力を安定させる。ブレーキ材には、フェノール樹脂を用いた。本実験においては、ボルト軸力を $N=100\text{kN}$ 、摩擦面を6面、皿ばねユニットは6個とした。本実験に用いたブレーキ材は摩擦係数が $\mu=0.30\sim0.36$ 程度であるため、減衰力 P は $P=\mu N\times(\text{摩擦面数})\times(\text{皿ばねユニット数})\approx 1000\text{kN}$ となる。本研究で用いたブレーキダンパーの写真を図-2に示す。

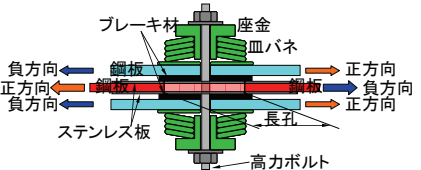


図-1 ブレーキダンパーの基本構成

3. 実験方法 実験は、ダンパーの両端を、それぞれクレビスを介して振動台上および振動台基礎上の反力治具に固定して、振動台に地震応答波を強制変位で与えることにより行なった。加力方法を図-3に示す。

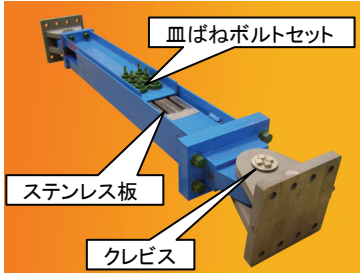


図-2 ブレーキダンパー

入力する地震応答波は、ダンパーを上部工と橋台の間に挿入することを想定した図-4に示す1質点系により地震応答解析を行い作成した。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-1に示すパラメーターの全組み合わせとした。ダンパーバネの減衰力は上部工重量の0.1倍で固定とした。実際に実験に用いたのは、全162ケースより、応答速度および応答変位の大きいものを中心に抽出した34波形とした。34波形の応答速度は16.0～153.9kineであり、応答変位は22.9～331mmである。

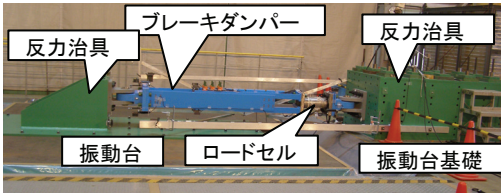


図-3 加力状況

4. 実験結果 減衰力-変位関係のうち2例を図-5に示す。これらは、同一のダンパーに異なる入力地震波を入力したものであるが、最大速度の小さい例1(最大速度=67.3kine)と最大速度の大きい例2(最大速度=151kine)では、履歴の形状や地歴吸収エネルギーの大きさが異なるため、条件によって適切に評価する必要があることがわかる。

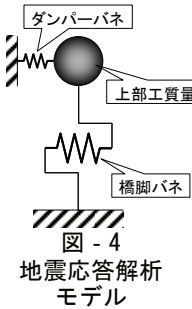


図-4 地震応答解析モデル

表-1 解析パラメーター

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

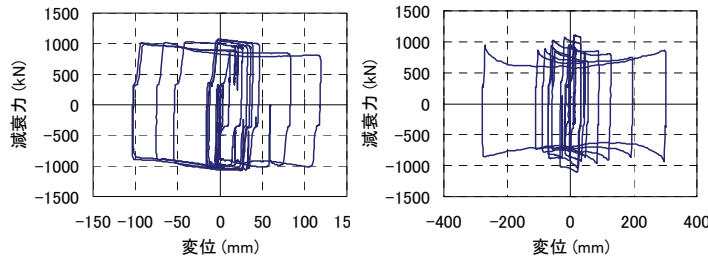


図-5 減衰力-変位関係の例

5. 摩擦係数の評価 設計において、ブレーキダンパーは、設計摩擦係数によって算定される減衰力を降伏強度とするバイリニアモデルで評価することを想定している。そこで、平均摩擦係数

として、減衰力－変位関係が履歴吸収エネルギーを等価とする長方形で評価できるように、平均摩擦係数を定義した。具体的には、正側および負側に関して最も振幅の大きい半サイクルループに対して、履歴吸収エネルギーが等しくなる様に、以下の式により算定した。

$$\mu_{ave} = E / (\delta_2 - \delta_1) / P_{bolt} / n$$

ここに、 E ：履歴吸収エネルギー、 $\delta_1 \cdot \delta_2$ ：始点および終点変位、 P_{bolt} ：ボルト軸力の合計、 n ：摩擦面数(=6)。(図-6)。正側および負側のそれぞれで計算したため、34 ケースの実験に対し 68 個の平均摩擦係数を算定した。

図-7 に、地震動・地盤種別と平均摩擦係数の関係を示す。地震動や地盤種別によって明確な差が現れていることがわかる。

図-8 に橋脚固有振動数と平均摩擦係数の関係を示す。固有振動数との相関は小さいことがわかる。摩擦係数に最も影響を与えるのは速度であるが、応答速度スペクトルは固有振動数に対して鈍感であるためと考えられる。

図-9 に、橋脚降伏震度と平均摩擦係数の関係を示す。橋脚が降伏しない場合は、橋脚の降伏震度を上げて同じ結果となる。その場合、降伏震度 0.3 で降伏しないケースは降伏震度 0.3 とし、降伏震度が 0.3～0.5 で降伏するケースは降伏震度 0.5 として表している。降伏震度 0.3 のうち平均摩擦係数が大きいプロットのほとんどはこのようなケースであるため、橋脚降伏震度の影響は小さいと言える。

以上より、平均摩擦係数に与える影響は地震動および地盤種別によるものが大きく、橋脚緒元の影響は小さいと言える。そこで、設計用摩擦係数として、各地震動および地盤種別ごとの平均値を提案する。なお、下限値ではなく平均値とするのは、以下に示す理由による。1) 振幅が最大となるループで平均摩擦係数を算定しているが、そのループの前のループにおいてはより大きな摩擦係数が期待できる。2) 実験を行った波形は、網羅的に計算した中で応答の大きかったもののみを抜き出している。3) 一般に応答の算定は平均値に対して行うものであり、安全係数は別途考慮する。

設計用摩擦係数を表-2 に、設計用摩擦係数と実験で得られた平均摩擦係数の関係を図-10 に示す。ほぼ 10%以内に収まっており、実用上十分な精度と言える。

6. おわりに パラメトリックに実験を行うことにより、ブレーキダンパーに対する設計用摩擦係数を提案した。今後、設計法としてまとめ、実用に供する予定である。

参考文献

- 1) 日野ら：高力ボルト摩擦接合滑りダンパーの開発と実建物への適用、鋼構造年次論文報告集、No1. 8、2000. 11
- 2) 武田ら：摩擦型ダンパーの性能確認実験、土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集、2009. 9、
- 3) Takeda et al: Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, Journal of the Structural Division, ASCE, No1. 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、2002. 3

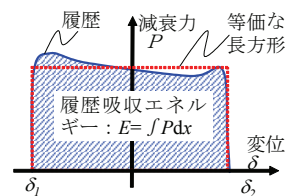


図-6 摩擦係数の評価

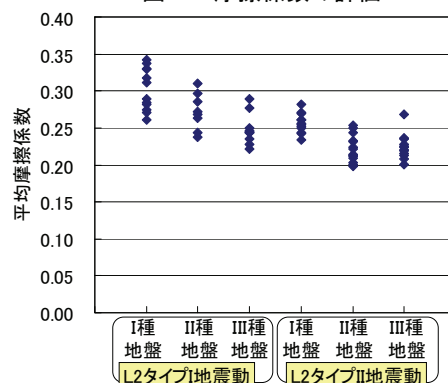


図-7 地震波の影響

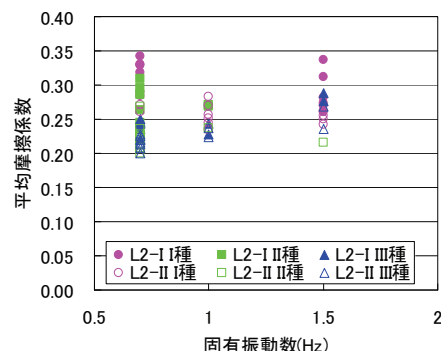


図-8 橋脚固有振動数の影響

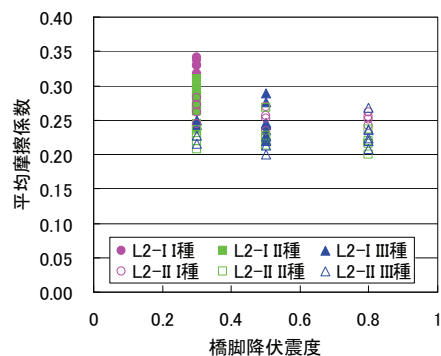


図-9 橋脚降伏震度の影響

表-2 設計用摩擦係数

	I種地盤	II種地盤	III種地盤
L2-タイプI	0.30 (0.091)	0.27 (0.084)	0.25 (0.079)
L2-タイプII	0.26 (0.051)	0.22 (0.079)	0.22 (0.074)

(括弧内は変動係数)

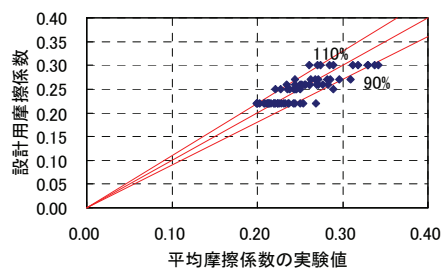


図-10 設計用摩擦係数