

## 非対称摩擦型ダンパーの基礎的検討

(株)大林組 正会員 ○武田 篤史

## 1. はじめに

橋梁の耐震補強において、ダンパーを用いて制震橋梁とする補強事例が増えつつある。適用方法は、図-1 に示すように、桁端部と下部構造の間に取り付ける方法と、トラス橋などの斜材に取り付ける方法が中心である。制震橋梁とすることで、地震エネルギーを吸収するため、橋脚やトラス部材の耐震性を向上させることなく地震応答を低減することができる。

一方で、橋梁に取り付けうるダンパーの減衰力容量は、取り付ける構造の耐力に制約される。桁端ダンパーであれば下部構造の耐力、斜材に取り付けるときは斜材の母材耐力を超える減衰力を発揮させることはできない。その結果、十分な減衰力容量のダンパーを用いることができなかったり、構造物の補強が必要になったりする。

そこで、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」を考案した。

橋台は、背面地盤の土圧（主働土圧、受働土圧）が働くため、引張力より圧縮力に対する耐力より大きいという特徴を有している。また、斜材の母材は、降伏前の座屈を避けなければならないため、圧縮力より引張力に対する耐力より大きいという特徴を有している。これらのケースにおいて、圧縮側と引張側で減衰力容量が異なる本ダンパーを用いることで、より合理的な設計が可能になると考えられる。

本稿では、非対称摩擦ダンパーに関して、その仕組みや成立条件を示す。さらに構造成立性を確認するために行った、挙動確認実験の結果を示す。

## 2. 非対称摩擦ダンパーの仕組み

本ダンパーは、皿ばねボルトセットを用いた摩擦型ダンパー<sup>1)</sup>を基本として、摩擦面垂直抗力が変動する機構を取付けたものである。皿ばねボルトセットを用いた摩擦型ダンパーは、摩擦材とステンレス材からなる摺動面に対して、皿ばねを介したボルトで締め付けることにより、摩擦力を発生させるものである。

本ダンパーは、図-2 に示す通り、傾斜摺動面を含む楔材 A,B を挟み込んだものである。図-2a)の状態から、青矢印方向の変形を与えると、楔材 B が右側ストッパーに当たるまで傾斜摺動面で摺動が発生して、b)の状態となる。その結果、全体の厚みが増えて皿ばねが縮むことで摩擦面垂直抗力が増加する。なお変形を与えると、制震用摺動面における摺動が発生し、増加した摩擦面垂直抗力に対応する減衰力が発生する。次に赤矢印方向の変形を与えると、同様に、楔材 B が左側ストッパーに当たるまで傾斜摺動面で摺動が発生して、a)の状態となる。この時は、皿ばねが緩むので、摩擦面垂直抗力が減少する。なお変形を与えると、制振用摺動面における摺動が発生し、減少した摩擦面垂直抗力に対応する減衰力が発生する。

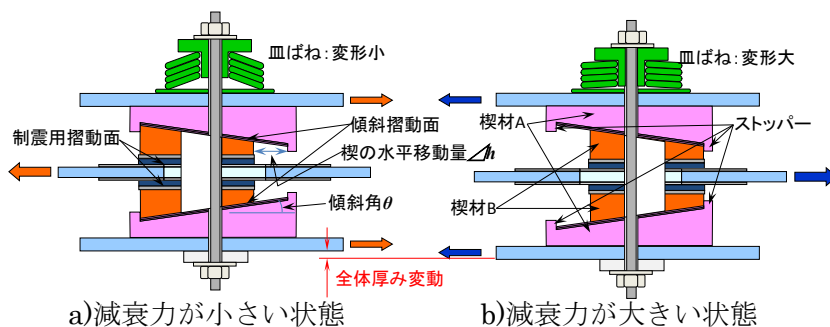


図-2 非対称摩擦ダンパーの基本構成

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

### 3. 非対称摩擦ダンパーの成立条件と各パラメーターの影響

本ダンパーは、制震用摺動面に先立って傾斜摺動面が摺動する必要がある。特に、図-2a)の状態から b)の状態に向けて動き出すときの挙動がクリティカルになる。そこで、力の釣り合いより、成立条件を検討する。

傾斜摺動面で摺動させようとする力が傾斜摺動面における摩擦より大きくななければならないので、

$$P \cos \theta > 2N \sin \theta - \mu_0 (2N \cos \theta + 2P \sin \theta) \quad (1)$$

ここに、 $P$ ：作用力（青色矢印の荷重）、 $\theta$ ：傾斜角（図-2 参照）、 $N$ ：摩擦面垂直抗力、 $\mu_0$ ：傾斜摺動面の摩擦係数。係数の2は摩擦面数である。作用力  $P$  の最大値は、制震用摺動面での摺動開始時荷重であるため、

$$P < 2\mu_1 N \quad (2)$$

ここに、 $\mu_1$ ：制震用摺動面摩擦係数。式(1),(2)を整理して、成立条件式

$$\tan \theta < (\mu_1 - \mu_0) / (1 + \mu_0 \mu_1) \quad (3)$$

が得られる。このとき、 $\tan \theta$  は、厚み変動量  $\Delta v$  と楔材の相対変形量  $\Delta h$  の比となる。 $\Delta h$  は減衰力変形関係におけるスリップとなり、エネルギーを吸収できない変形となるため小さいほうが望ましい。一方、正負減衰力容量の差は、 $2k\Delta v$  ( $k$ ：皿ばねのばね定数) となるため、 $\Delta v$  が大きい方が設計自由度が高い。従って、 $\tan \theta$  は大きいほうが望ましい。 $\mu_1$  は皿ばねボルトセットを用いた摩擦型ダンパーの摩擦材と同じものを用いると考えると、 $\tan \theta$  を大きくするためには、 $\mu_0$  を小さくすることが重要となる。

### 4. 非対称摩擦ダンパーの挙動確認実験

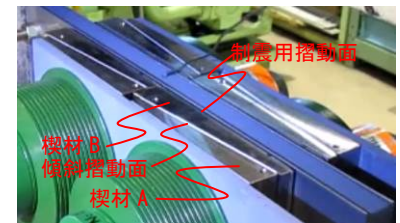
本ダンパーの成立性を確認するため、図-2 に示す基本構成を2組用いて実験を行った。文献1)と同様の構成に、非対称とする構成を加えた。楔材 A,B はステンレスで製作し、ストッパーは内部に組込んだ。傾斜摺動面には PTFE シートを挟んで摩擦係数を低減した。楔材の形状は、 $\tan \theta$  を 0.1, 0.14 の2種類、 $\Delta h$  を 5, 8, 10mm の3種類とし、その組合せから4ケースを実施した。いずれも、式(3)の条件を満たすものである。载荷は正弦波 0.625Hz(最大速度 10kine)、振幅  $\pm 40$ mm, 20cycle とした。

図-3 に、楔材の状況を示す。荷重の向きによって想定通り厚みが増えていることがわかる。図-4 に減衰力と変形の関係を示す。引張側と圧縮側で大きく減衰力が変化していることがわかる。この時の2波目に関して、挙動のモデルとの比較を図-5 に示す。モデルは、1)最大変位、最大荷重は実験値を用いる、2)摩擦挙動は剛塑性型の挙動をする、との仮定のもと、式(1)と同様の力のつり合いから、制震用摺動面および傾斜摺動面それぞれの摺動開始点、摺動終了点（合計8点）を求め、直線で結んだものである。制震用摺動面の摩擦係数は、計測された最大荷重とボルト軸力から算定した( $\mu_1=0.41$ )。傾斜摺動面の摩擦係数はモデルと実験値が近くなるように求めた( $\mu_0=0.13$ )。モデルは実験結果とよく整合しており、想定通りの挙動であることがわかる。これらの実験結果は、実施した他のケースでも同様に確認できた。

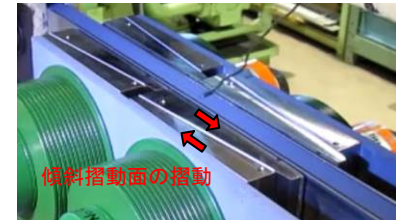
### 5. おわりに

圧縮側と引張側で減衰力容量が異なる「非対称摩擦ダンパー」を考案した。本ダンパーを適用することで、より合理的な制震構造を実現可能と考えられる。

**参考文献** 1) 早川他：皿パネボルトセットを用いた摩擦型ダンパーの速度依存性，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.70，2015。



a) 減衰力が小さい状態



b) 減衰力が大きい状態

図-3 実験時の楔材の状況  
( $\tan \theta = 0.1$ ,  $\Delta h = 10$ mm)

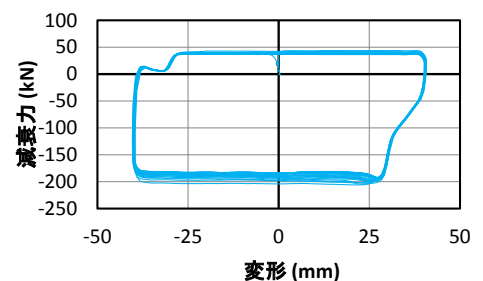


図-4 減衰力 - 変形関係の例  
( $\tan \theta = 0.1$ ,  $\Delta h = 10$ mm)

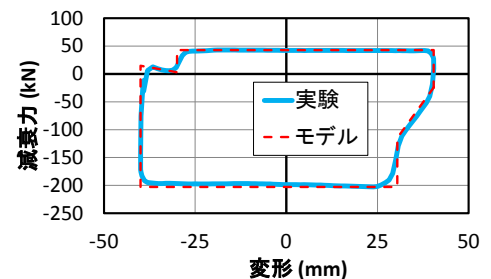


図-5 減衰力 - 変形関係のモデル  
( $\tan \theta = 0.1$ ,  $\Delta h = 10$ mm)