

第 I 部門

回転摩擦ダンパーの制震特性に関する振動台実験

京都大学工学研究科 学生員 ○與北 雅友
 京都大学工学研究科 正会員 豊岡 亮洋
 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和

川口金属工業（株） 正会員 比志島 康久
 川口金属工業（株） 正会員 姫野 岳彦
 DAMPTECH 非会員 Imad H. Mualla

1. はじめに

本研究は、振動エネルギーをデバイスに吸収させ、構造物の動的応答を低減することを目的とした制震分野に関する研究である。制震装置としてリンク機構を有する回転摩擦ダンパーに着目し、その動的特性を検証するために、橋梁上部工モデルを用いた振動台実験を行った。さらに、本ダンパーの履歴モデルを提案し、動的解析による結果と実験値との整合性について、一般的な摩擦ダンパーの履歴モデル（完全剛塑性型）との比較を行うことにより、モデルの妥当性を検討した。

2. 回転摩擦ダンパー

2.1 回転摩擦ダンパーの概要

滑り支承などの一般的な摩擦ダンパーは橋脚などの下部構造に伝わる荷重が動摩擦力以上にならない応答遮断機能や同じ変位量および最大荷重に対して他のダンパーより大きな吸収エネルギーが得られるなど、多くの利点を有しているが、大きな滑り面を確保する必要があり、摩擦力が鉛直作用力に依存するなどの問題点も有している。本研究で着目したリンク機構を有する回転摩擦ダンパーは、こうした点を解消する新しい摩擦ダンパーとして提案されている。

2.2 回転摩擦ダンパーの構造

図 1 に回転摩擦ダンパーの構造を示す。本ダンパーは、ステンレスのアームとその間に挟まれる高摩擦材（動摩擦係数 $\mu = 0.45$ ）をボルトで連結したリンク機構を有している。構造体との連結部については回転可能なヒンジ構造で、水平変形を回転運動に変換し、リンク機構部での滑りを期待することによって、エネルギー吸収を行う構造になっている。そのため、大変位に対して大きな滑り面を確保する必要がなく、リンク機構部の角度変形で追従可能である。さらに、リンク機構部への導入軸力は、構造体の自重によらずボルトの軸力によるため、発揮される摩擦力は上下方向の加速度によらず、また容易に調整及び再設定が可能である。

リンク機構部で摩擦によるモーメント（ M ）が発生し、モーメントのつりあいからヒンジ間を結んだ直線方向にのみ荷重（ M/L ）が期待できる。この力を摩擦水平力と称する。

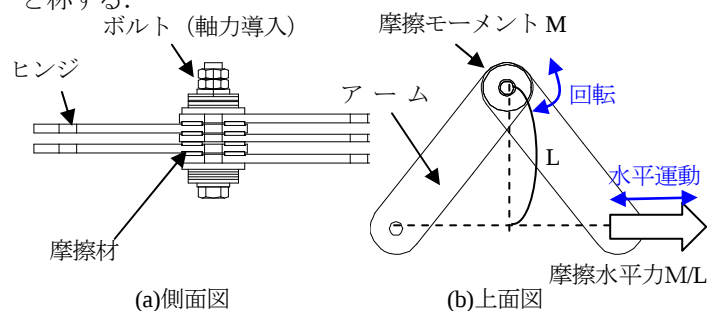


図 1 回転摩擦ダンパーの構造

3. 振動台実験による効果の検証

3.1 振動台実験の概要

回転摩擦ダンパーの動的特性を検証するために、橋梁上部工モデルを用いた振動台実験を行った。摩擦ダンパーを図 2 に示すように桁模型に設置し、桁模型を支える支承には NR 支承または滑り支承を用いた。また、復元力装置として NR または HDR-S を用いるケースも行った。ダンパーと振動台の接続部には 3 分力計を設置したため、個々のダンパーの荷重を直接計測できる。

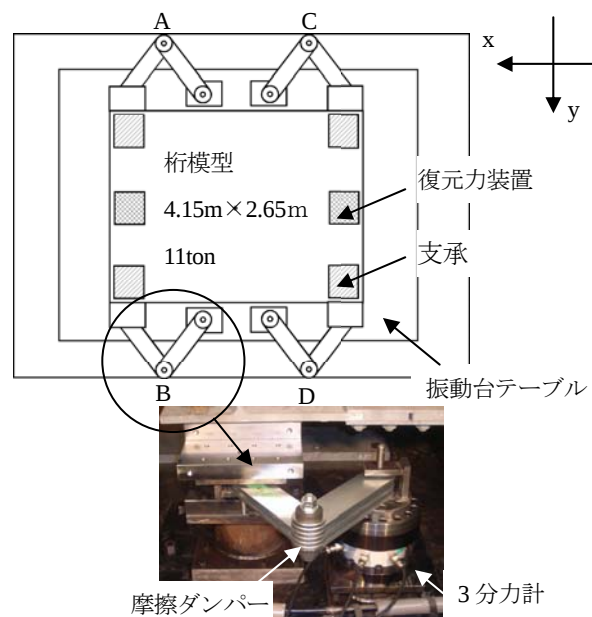


図 2 実験装置

Masatomo YOKITA, Akihiro TOYOOKA, Hirokazu IEMURA, Yasuhisa HISIJIMA, Takehiko HIMENO and Imad H. Mualla

3.2 実験結果

3.2.1 動摩擦モーメント

滑り支承および復元力装置として NR を用いたケースに対して、正弦波 (1.7Hz, 最大 300gal) を x 方向 (振動台長手方向) に入力した時に得られたダンパー1 基の相対角度 (アームのなす角の変化量) - 摩擦モーメントの履歴を図 3 に示す。動摩擦モーメントが相対角度によらず、一定であることが分かる。

3.2.2 摩擦力の漸増区間

図 3 のように、ダンパーの履歴に摩擦力が漸増する剛性のような区間があることがわかった。

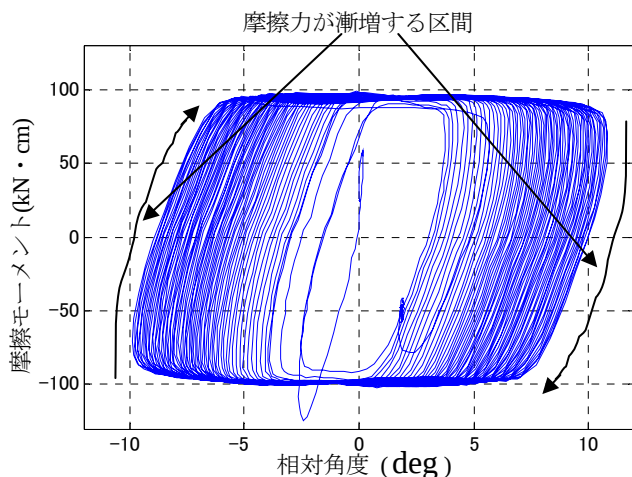


図 3 相対角度-摩擦モーメント

4. 動的解析による再現解析

実験結果から、本ダンパーの履歴には摩擦力が漸増する区間が存在することがわかった。実験装置全体をモデル化し、図 4 に示す摩擦力が漸増する区間を考慮する場合と考慮しない場合の摩擦ダンパーの履歴モデルを用いて、動的解析を行った。その応答結果を実験結果と比較することにより、摩擦力の漸増区間が応答に与える影響を検討した。検討対象は、ダンパー以外の非線形性が最も少ないと考えられる (ダンパー+NR 支承) のケースとした。比較に用いた実験結果は、地震動を入力したケースのうち、最も相対変位が生じたケースとし、その入力波は時間ステップ幅が 0.01(sec) で記録されている北海道東方沖地震の温根沼大橋地盤上の地震動記録を、加振レベルを 2 倍にし、時間ステップ幅を 0.005(sec) で入力し、時間軸を圧縮した波形とした。図 5 及び図 6 に相対変位の時刻歴についての解析結果と実験結果の比較を示す。摩擦力の漸増区間を考慮する場合のほうが実験結果を精度よく再現できていることが分かる。このことから、本ダンパーのモデル化には、摩擦力が漸増する区間を考慮することにより動的解析の精度を向上できるといえる。

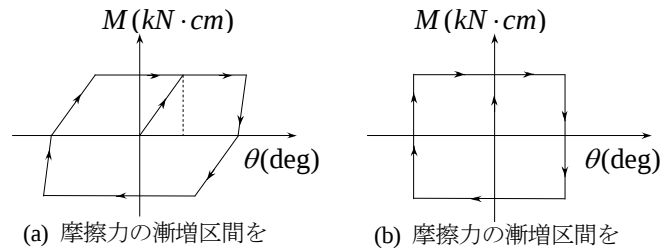


図 4 摩擦ダンパーの履歴モデル

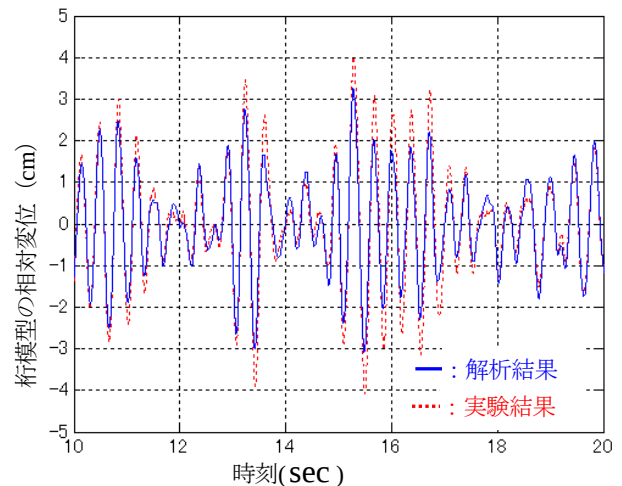


図 5 摩擦力の漸増区間を考慮する場合

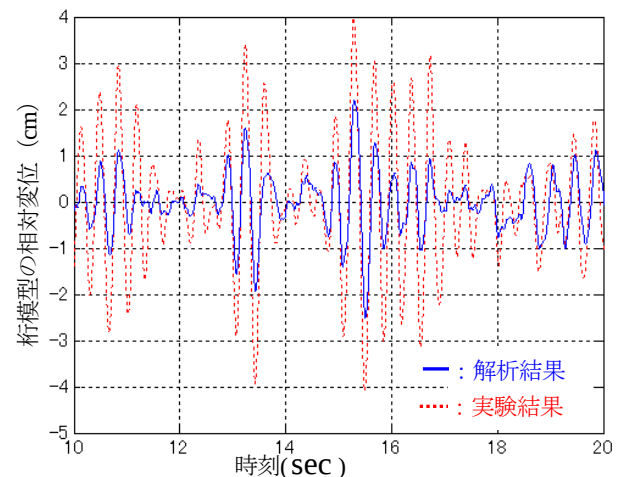


図 6 摩擦力の漸増区間を考慮しない場合

5. まとめ

本研究では、振動台実験によりリンク機構を有する回転摩擦ダンパーが動的外力を加えた場合でも動摩擦モーメントは変位によらずほぼ一定であることを確認した。さらに、本ダンパーの履歴モデルに摩擦力の漸増区間を考慮することを提案し、動的解析による結果と実験値との整合性について、摩擦力の漸増区間を考慮しない一般的な摩擦ダンパーの履歴モデル (完全剛塑性型) との比較を行うことにより、本ダンパーの履歴モデルに摩擦力の漸増区間を考慮することにより動的解析の精度を向上できることを示した。