回転摩擦ダンパーの制震特性に関する振動台実験および動的解析

京都大学工学研究科　学生員　○與北　雅友　　川口金属工業（株）　正会員　比志島　康久
京都大学工学研究科　正会員　豊岡　亮洋　　川口金属工業（株）　正会員　姫野　岳彦
京都大学工学研究科　フェロー　家村　浩和　　DAMPTECH　非会員　Imad H. Mualla

1. はじめに

本研究では，筆者らにより提案されている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，実験結果から得られたデータを用いて，実験装置全体をモデル化し，実験結果との比較による全体モデルの妥当性を得た上で，動的解析によりダンパーの設置配置による影響を検討した．

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，及び同じ変位量，同じ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といった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随可能である．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の方向にのみ荷重（M/L）が期待できる．この力を摩擦水平力と称する．

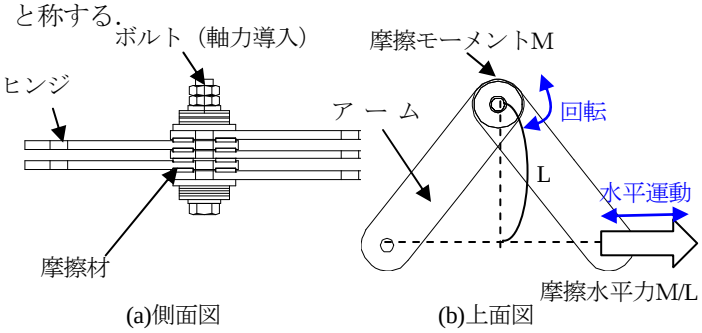

図 1　回転摩擦ダンパーの構造

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．滑り支承を用いた場合には，復元力装置として NR を設置した．ただし，ダンパーと振動台の接続部には 3 分力計を設置しており，実験のセットアップに関わらず個々のダンパーの荷重を直接計測できる．

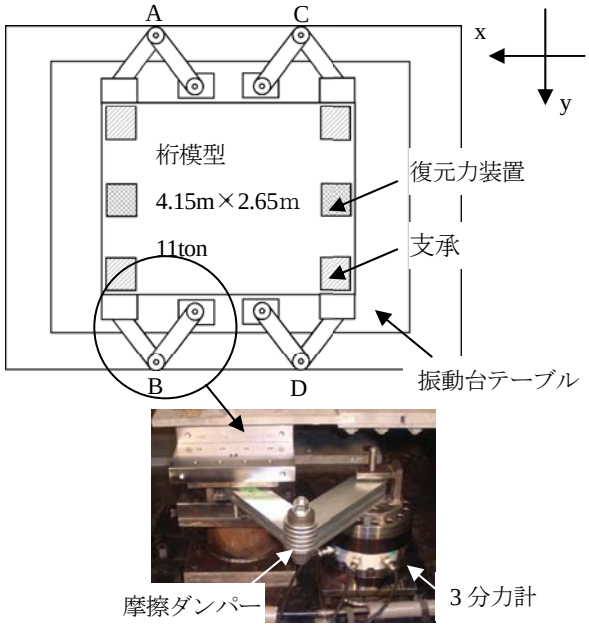

図 2　実験装置

キーワード　制震　摩擦ダンパー　振動台実験　動的解析
連絡先　〒615-8540　京都市西京区京都大学桂　京都大学大学院構造ダイナミクス分野　075-383-3244

3.2 実験結果

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．

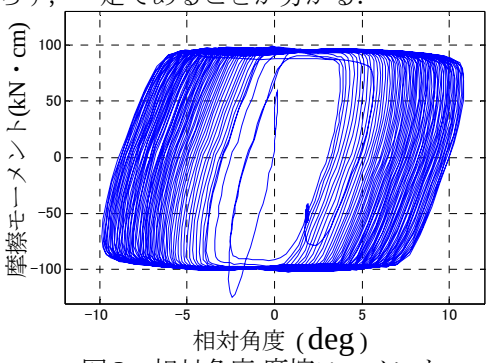

図 3　相対角度-摩擦モーメント

4. 動的解析による再現解析

実験では 1 方向（x 方向）にのみダンパーが効果を発現する配置になっていたが，動的解析により平面全体に効果を発現する設置配置を検討した．摩擦ダンパーの摩擦モーメントと相対角度の履歴を図 4 のようにモデル化し，実験配置(図 5)と実験配置から 45° 傾けた配置(図 6)に対して，北海道東方沖地震の温根沼大橋地盤上の地震動記録を平面 2 方向に入力した．この時の全ダンパーの相対変位―摩擦水平力の履歴を図 7（x 方向），図 8（y 方向）に示す．配置 2 は x 及び y の 2 方向に荷重を発揮し，平面全体に効果を発現しているのに対し，配置 1 は y 方向には荷重を発揮しないが x 方向には大きな荷重を発揮していることが分かる．そこで，以下に示す平面全体での相対変位および慣性力の最大値を比較した．

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \qquad ma = \sqrt{(ma_x)^2 + (ma_y)^2}$$

d：平面全体の相対変位
a：平面全体の絶対加速度
d_x：x方向の相対変位
d_y：y方向の相対変位
a_x：x方向の絶対加速度
a_y：y方向の絶対加速度
m：桁模型の質量

平面全体での最大相対変位は配置 1 では 4.5cm，配置 2 では 2.5cm となり，平面全体での最大慣性力は配置 1 では 103kN，配置 2 では 66.7kN となった．平面全体での応答は配置 1 より．配置 2 の方が低減できており，実際の構造物に用いる場合は配置 2 の方が望ましいと考えられる．

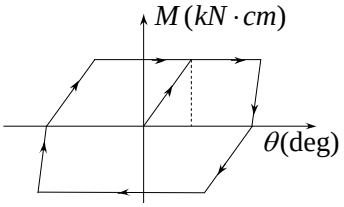

図 4　摩擦ダンパーの履歴モデル

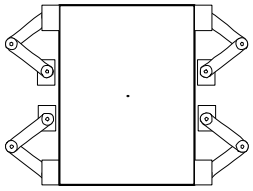

図 5　実験配置（配置 1）

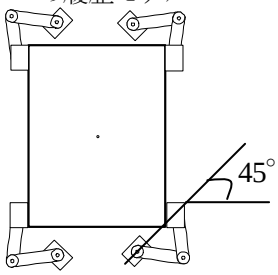

図 6　実験配置から 45° 傾けた配置(配置 2)

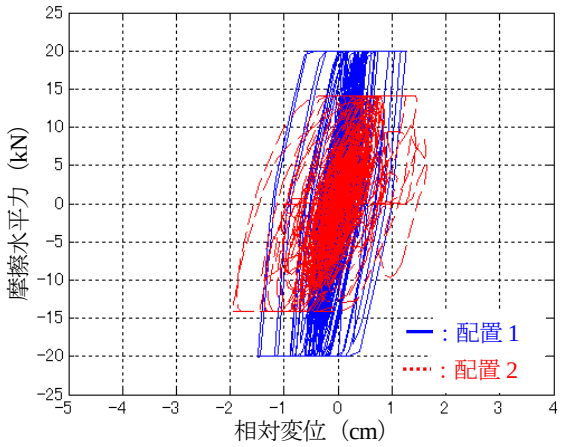

図 7　全ダンパーの履歴（x 方向）

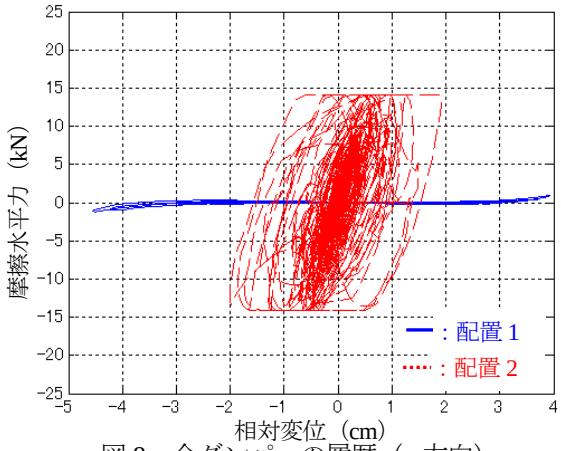

図 8　全ダンパーの履歴（y 方向）

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に動的外力を加えた場合でもその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．実験では 1 方向にのみ効果を発現する配置になっていたが，実験結果から得られたデータを用いて実験装置全体をモデル化し，動的解析を行うことによって，ダンパーの設置配置を変更することにより，ダンパーの効果を平面全体に発現させ，平面全体の応答を低減できうることを示した．