

独立型負剛性摩擦ダンパーの開発とハイブリッド実験による検証

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○豊岡 亮洋・本山 紘希
 オイレス工業株式会社 正会員 河内山 修・岩崎 雄一

1. はじめに

平成 24 年に改訂された「鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)」では、設計想定以上の地震動が作用したとしても構造物またはシステムが破滅的な状況に陥らない設計を行う、「危機耐性」の考え方が導入され、この危機耐性を確保する方法の一つとして制震構造の導入が推奨されている。本報告では、絶対応答の低減により地震時の構造物の安全性・復旧性の確保が可能な負剛性制震について、従来のデバイスと比較してより容易に実構造に適用可能なパッシブダンパーを提案するとともに、その効果を実験的に検討した。

2. 独立型負剛性摩擦ダンパーの概要

負剛性とは、変形 x に対して、変形を加速する負の剛性($=-k_{ns}$)を発揮することで、設置した系の剛性を見かけ上低下させ、構造物の絶対加速度をはじめとする応答を低減可能な制震機構である。負剛性の制震効果についてはすでに理論的、実験的に明らかにされているが¹⁾、これを実際の制震装置として実現させる機構として、本研究では、図 1 に示す機構により負剛性を発現する構造を新たに考案した。このダンパーは、すべり材および凸型すべり板からなるすべり支承に対し、コイルばねにより鉛直荷重を作用させることで、ダンパーの変形を加速させる負剛性を発揮させる構造となっている。このとき、負剛性は $(-k_{ns})=W/R$ 、すなわち鉛直荷重 W と凸型すべり板の曲率半径 R により決定することができる¹⁾。また、負剛性単体では減衰を得られないため、すべり材とすべり板の摩擦により減衰を確保し、ダンパー本体および構造物の応答を低減させる機構を有する。

従来の研究ではこの負剛性を実現する方法として、橋梁支承部への適用を想定し、図 1 のダンパーにおける W として桁の死荷重を利用する構造を提案している¹⁾。しかし、負剛性を決定する桁重量を正確に算定することは一般に困難であり、ダンパー設計および実構造への導入の面で課題が残されていた。今回、ダンパー単体で負剛性を発揮する独立型の負剛性摩擦ダンパーを開発することで、鉛直荷重 W を製作時に任意に設定することが可能となり、設計で想定した負剛性を安定して発現させることができる。また、適用箇所を橋梁支承部に限定することなく、一般的な制震ダンパーと同様に実構造物に比較的容易に導入することが可能となる。

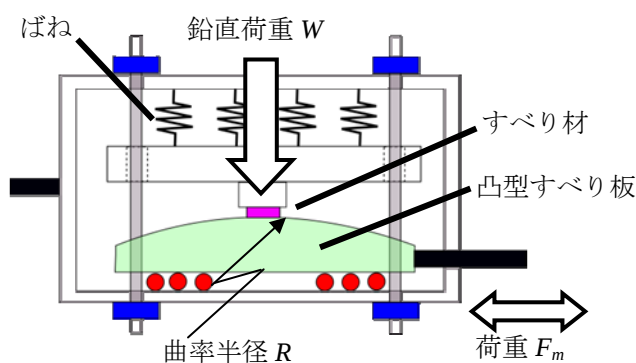


図 1 提案する独立型負剛性摩擦ダンパー



図 2 载荷試験の概要

3. 正弦波载荷による検証

提案する機構の成立性を検証するため、図 1 のダンパーの模型を試作し、図 2 に示すように、鉄道総研が所有するアクチュエータで载荷試験を実施した。PTFE すべり材は 40mm×40mm を使用し、凸型すべり板はステンレス板（曲率半径 $R=497\text{mm}$ 、最大変位 $\pm 60\text{mm}$ ）とし、コイルばね 6 本を介して $W=24\text{kN}$ を作用させる。このとき設計負剛性は -48.3N/mm 、摩擦係数は約 0.1 となる。このダンパーに対して正弦波変位を载荷した。

キーワード 負剛性、独立型負剛性摩擦ダンパー、ハイブリッド実験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター TEL:042-573-7336

載荷周波数は 0.01 Hz, 0.1 Hz, 1Hz、最大両振幅は 30 mm, 40 mm, 50mm を設定した。図 3 には試験の一例として、周波数 0.01Hz、振幅±50mm の試験結果を示す。このように、履歴は右下がりの形状を示しており、提案する機構により負剛性および安定した摩擦減衰を発現できることを確認した。また、図 4 には、試験により得られた履歴から、非線形最小二乗法により負剛性を同定した結果を示す。このように、提案する機構により、概ね設計値に近い負剛性を安定して発現可能であることを確認した。

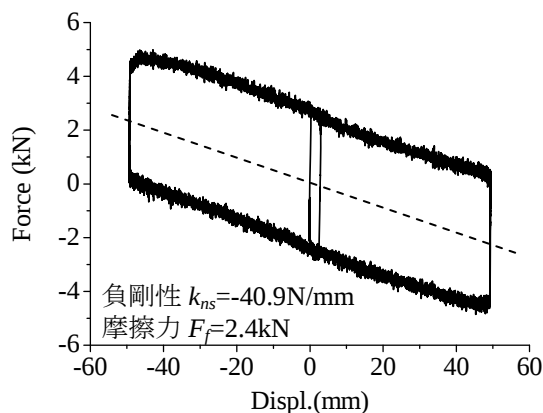


図 3 ダンパーの荷重-変位応答 (0.01Hz/50mm)

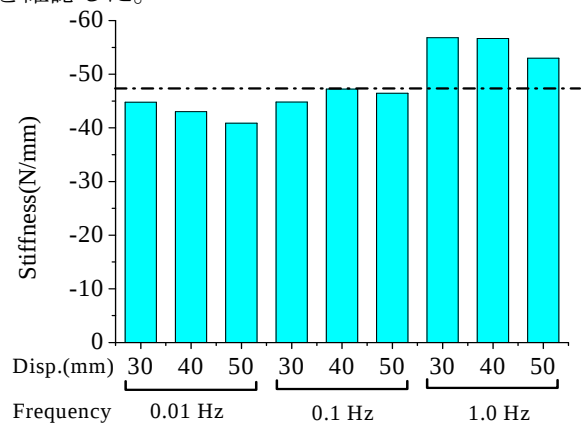


図 4 試験条件ごとの負剛性の同定結果

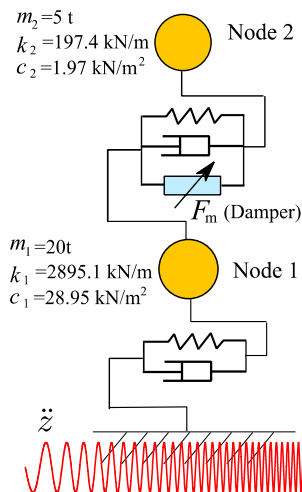
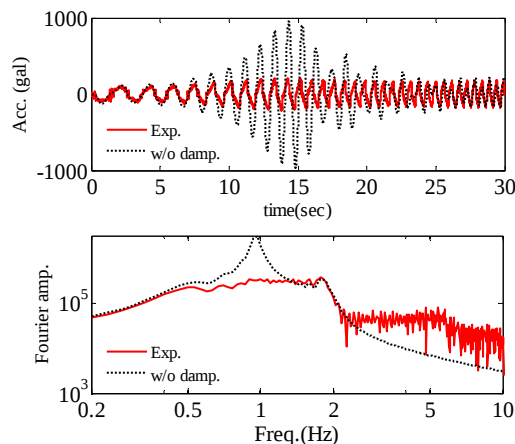
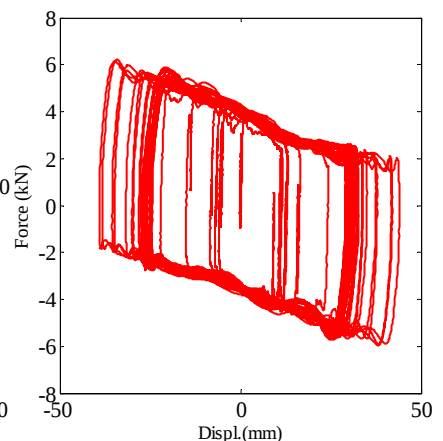


図 5 ハイブリッド実験モデル



(a) Node2 絶対加速度時刻歴と周波数応答



(b) ダンパーの荷重-変位応答

図 6 実験結果およびダンパーなし応答との比較

4. ハイブリッド実験による検証

次に、提案する負剛性摩擦ダンパーを構造物に組み込んだことを想定し、図 2 の載荷システムに DSP による応答計算を組み合わせた準動的ハイブリッド実験を実施し、構造物応答との相互作用下における制震効果を検討した。応答計算モデルは、今回試作したダンパーの最大荷重および変位を勘案して、図 5 に示す諸元を有する 2 自由度線形系 (1 次固有振動数=1Hz) を設定し、Node1~2 間に本ダンパーを設置することを想定した。入力地震動は、0.3~2Hz まで 30 秒間で周波数を漸増させた正弦波 (最大加速度 80gal) を用いた。図 6 には、実験により得られた Node2 絶対加速度の時刻歴応答、周波数応答、およびダンパーの履歴を示す。図では比較のため、ダンパーを設置しない場合の応答計算結果 (点線) も示している。このように、負剛性摩擦ダンパーにより絶対加速度応答および共振応答が大幅に低減されることを確認し、提案した機構の有効性を確認した。

5. まとめ

地震時の構造物の安全性および復旧性の確保に必要とされる、絶対加速度応答等の低減が可能な新しい負剛性摩擦ダンパーを提案し、載荷試験によりその有効性を確認した。

参考文献

- 1) 豊岡亮洋, 河内山修, 家村浩和, 池田学, 下田郁夫: パッシブ型負剛性摩擦ダンパーの開発と振動台実験による制震性能の検証, 土木学会論文集 A Vol.66 No.1, pp-148-162, 2010.