

絶対応答を低減する負剛性摩擦ダンパーの開発と性能検証 (その2：制震効果の解析的検討とハイブリッド試験による検証)

(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) 正会員 河内山 修・岩崎 雄一

1. はじめに

前報(その1：ダンパーの設計・試作および単体性能試験)では、絶対応答の低減を目的とした負剛性摩擦ダンパーの機構を提案・開発するとともに、単体性能試験により負剛性および摩擦減衰が安定して発現することを確認した。本報では、負剛性による絶対応答の低減効果を定量的に評価するとともに、比較的大規模な構造物にダンパーを組み込んだ場合の制震効果をハイブリッド試験により検証した結果を報告する。

2. 負剛性の導入による絶対応答低減効果

負剛性摩擦ダンパーの制震効果には、系の低剛性化と摩擦減衰の2つの影響を含んでいることから、この両者が応答低減に与える影響を分離して評価することで負剛性導入の効果を明らかにする。このため、負剛性摩擦ダンパー、および負剛性を有しない摩擦ダンパーの2種類を構造物に適用したことを想定し、構造物条件を変えた動的解析を実施した。解析対象構造は、図1のように弾性固有周期 T_s 、降伏震度 K_{hy} を有する1自由度非線形系とし、履歴特性を二次剛性倍率 $\alpha=0.5$ のCloughバイリニアモデルで与える。このモデルに対して負剛性摩擦ダンパーを導入し、構造系の弾性固有周期 T_s ($=0.3\sim 1.0$ (s))と降伏震度 K_{hy} ($=0.4\sim 1.0$)をパラメータとして解析を行った。構造物の減衰は初期剛性の5(%)、質量 $m_s=100$ (t)とし、入力平成24年の「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」に規定されるL2地震動スペクトルII(G3地盤)を用いた。

負剛性摩擦ダンパーについては、負剛性($=-k_{ns}$)は構造物の二次剛性 αk_s の γ 倍として与え、既往の解析結果等をふまえ $\gamma=-0.3$ とした。また摩擦力($=F_f$)は、構造損傷を限定的な状態に留めることを想定し、応答塑性率 $\mu_t=2.0$ を実現する摩擦力を収束計算で算定した。これら負剛性および摩擦力を用いて負剛性摩擦ダンパーの応答計算を行った後、負剛性を0($\gamma=0$)として摩擦ダンパー単体の場合の解析を行い、負剛性の有無による制震効果の違いを検討した。また、構造物単体の解析を別途実施し、ダンパーの有無による制震効果を検討した。

図2および図3には、負剛性摩擦ダンパー、および摩擦ダンパー単体を用いた場合の絶対変位および絶対加速度の最大値を、ダンパーなしの応答を1とした低減倍率として表したものを示す。ここで、絶対変位(図2)については、負剛性摩擦ダンパー

の導入による制震効果は摩擦ダンパー単体の場合とほぼ同等であり、摩擦減衰は主に変位抑制に影響していると考えられる。一方、図3の絶対加速度については、負剛性の導入により、摩擦ダンパー単体よりもさらに10%程度の低減効果が得られている。これは、負剛性による系全体のみかけの剛性低下により、構造物～地盤間の相互作用力が低減

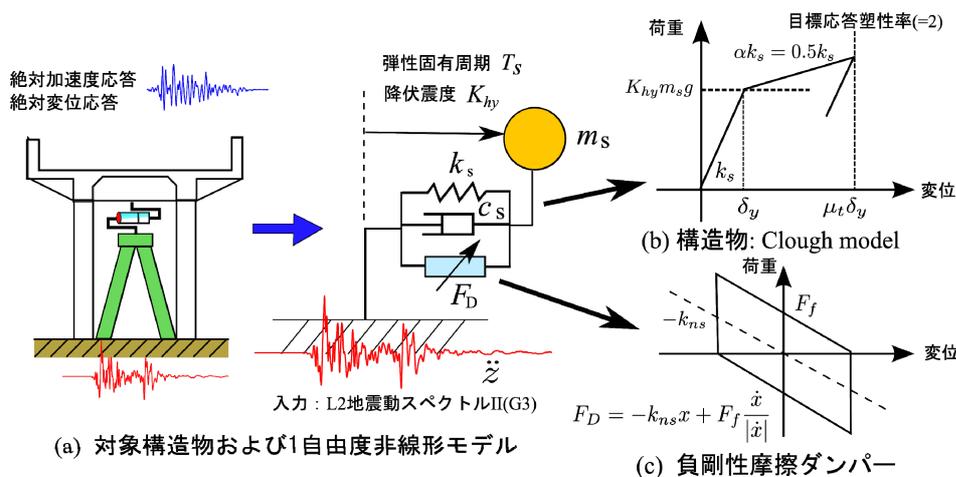


図1 負剛性摩擦ダンパーを有する構造物の解析モデル

キーワード 負剛性摩擦ダンパー、絶対応答低減効果、ハイブリッド試験

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

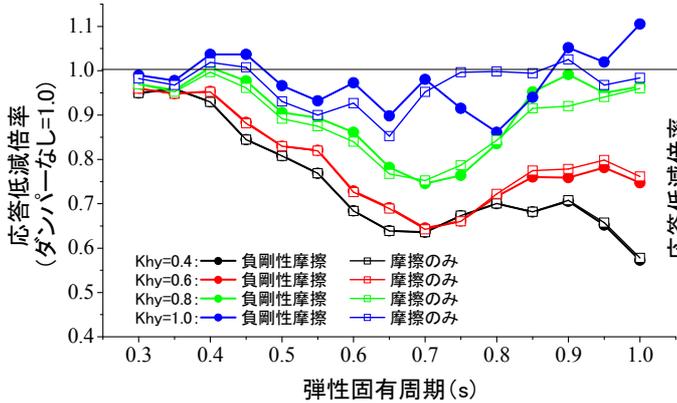


図2 絶対変位の低減倍率

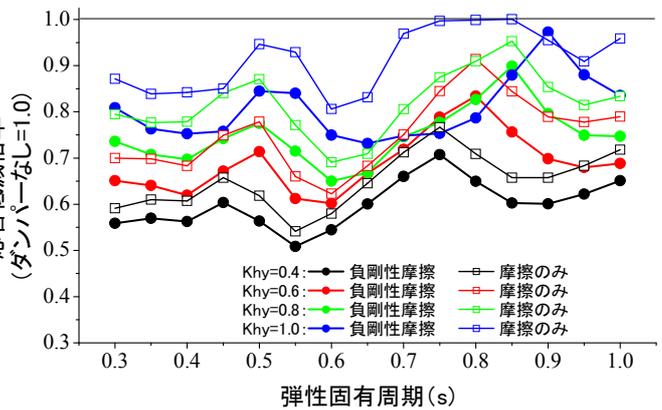


図3 絶対加速度の低減倍率

したためと考えられる。以上より、負剛性摩擦ダンパーは、負剛性による慣性力低減、および摩擦減衰による変位抑制、の両効果により絶対応答低減を図る機構であるといえる。

3. ハイブリッド試験による制震効果の検証

以上の検討をふまえ、実構造を想定したハイブリッド載荷試験を実施し、構造物の固有周期、降伏震度と制震効果の関係を検証した。対象構造物は図1の高架橋1自由度非線形モデルを用い、降伏震度と弾性固有周期をパラメータとして設定した。入力はダンパーの変位制約を考慮し、L2地震動スペクトルII(G3地盤)を700galに調整して用いた。

図4は、構造質量 $m_s=50$ (t)、降伏震度 $K_{hy}=0.6$ 、弾性固有周期 $T_s=0.4$ (s)の条件について、実験で得られたベースシア～相対変位履歴を、ダンパーなしの場合と比較して示す。図5は同条件でのダンパー履歴を示す。図4から、負剛性の効果で系の剛性が変位-20mm付近で低下がみられ、相対変位応答も50%程度抑制されていることが確認できる。

図6には、構造質量 $m_s=50$ (t)、降伏震度 $K_{hy}=0.6$ の各ケースについて、実験で得られた絶対応答最大値と弾性固有周期の関係を示す。絶対応答は、ダンパーなしの場合を1とした低減倍率として表しており、前報で示したダンパー設計値を用いた数値解析による結果も示している。この図から、実験と解析はほぼ同様の最大値および傾向を示しており、ダンパーが設計で想定した負剛性および摩擦減衰を發揮していると考えられる。また、ダンパーなしと比較して、特に弾性固有周期0.4~1秒の範囲で、絶対加速度、絶対変位ともに1~2割程度の制震効果が得られており、負剛性摩擦ダンパーの絶対応答低減効果を実験的に確認した。

4. まとめ

本報告では、絶対応答の低減により鉄道構造物の被害低減および車両の走行安全性向上を図る、負剛性摩擦ダンパーを開発するとともに、その制震効果を数値解析およびハイブリッド試験により確認した。今後はより大規模な構造へ適用可能な装置の開発を継続する予定である。

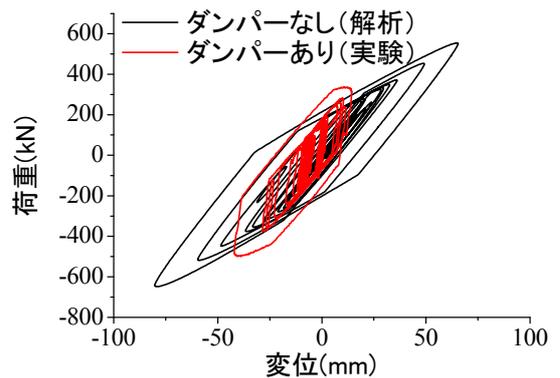


図4 ベースシア履歴比較 ($T_s=0.4$, $K_{hy}=0.6$)

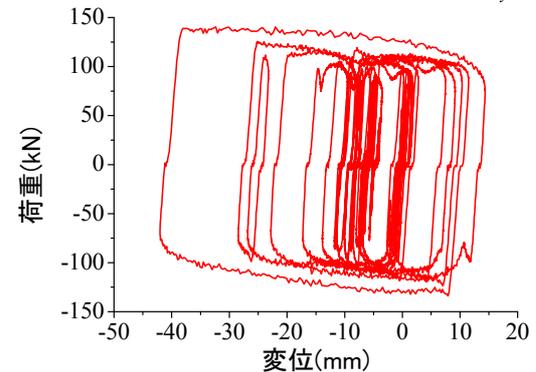


図5 負剛性摩擦ダンパー履歴 ($T_s=0.4$, $K_{hy}=0.6$)

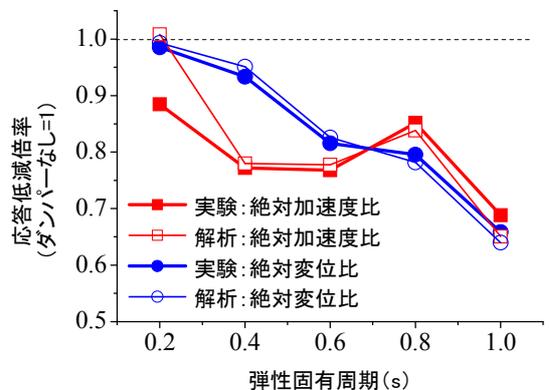


図6 ダンパー導入による制震効果($K_{hy}=0.6$)