

実時間ハイブリッド実験による直列ダンパーの性能検証

日本 Casting (株) 正会員 ○山崎 信宏 埼玉大学 正会員 党 紀
日本 Casting (株) 非会員 染谷 優太 埼玉大学 学生会員 秋池 佑香

1. はじめに

筆者らは、図1に示す概念の機能分散免制震橋を提案している¹⁾。機能分散免制震橋は、危機管理と回復性の観点から、機能が集中している支承部に着目し、常時あるいは地震時の機能を、それぞれの装置に分散させることに特徴がある。機能分散免制震橋の橋台部は、すべり支承と直列ダンパーを設置する²⁾。直列ダンパーは、シリンダーダンパー(以下、NES-D)と鋼材系せん断パネルダンパー(以下、LSD)を図2に示すように配置し、地震時に求められる減衰機能はLSDで負担する。想定と異なる事態が生じた場合、LSDに損傷を誘導することで、橋梁の機能を速やかに回復させる。

直列ダンパーの挙動は、正弦波での一定振幅荷重実験³⁾で確認している。しかし、直列ダンパーを機能分散免制震橋に適用させるためには、正弦波を用いた一定振幅荷重実験のみの評価では困難と考えられる。これは、材料非線形と動的非線形、すなわち、荷重履歴と荷重速度の両方の影響を同時に考慮する必要があるためである。このことから、複雑な動的復元力特性を有する装置が与える構造物全体への影響を検証するため、直列ダンパーのみの荷重実験と他部材の動的応答解析によって構造系全体の挙動を評価するハイブリッド実験を開発した²⁾。本報は、その実験の概要と結果を述べる。

2. 実験計画

2.1 構造モデル²⁾と実験供試体

山あげ大橋を参考とした構造モデルを図3に示す。直列ダンパー(NES-DとLSD)の復元力(水平力)は、荷重実験で得る。しかし、構造モデルで設定した大きさの直列ダンパーは、荷重装置の制約で設置できない。そのため、相似率2.2を考慮し、既報³⁾と同じLY225 type13-6.5のLSDと定格抵抗

500kNのNES-Dを組合せた直列ダンパーを実験供試体とした。荷重装置への直列ダンパーの設置状況を写真1に示す。

2.2 入力地震動

入力地震動は、道路橋の耐震設計で動的解析に用いる加速度波形のうち、II種地盤におけるレベル2地震動(タイプII)を想定し、平成7年兵庫県南部地震でのJR西日本鷹取駅構内地盤上のNS成分とした。波形の実時間は20秒である。

2.3 アクチュエータの制御方法

荷重装置は、定格出力 $\pm 1,000\text{kN}$ 、ストローク $\pm 250\text{mm}$ の水平アクチュエータを有している。水平アクチュエータは、制御PCに入力される外部変位(荷重目標変位)で制御する。各ステップの荷重目標変位は、ホスト・コンピュータ(Host-PC)またはDSP(Digital Signal Processor)で行う動的応答解析²⁾により求める。なお、Host-PCとDSPはイーサネット接続としており、DSPと制御PCはアナログ入出力ケーブルとBNCケーブルにより端子台を介して接続した。

2.4 荷重速度と測定項目

荷重速度は、 2mm/s 、 10mm/s 、 20mm/s と実時間(Real-Time, 以下、RT)の4種類とした。この速度は、Host-PCまたはDSP演算²⁾で求められた各ステップでの荷重目標変位に、水平アクチュエータを追従させるまでの値である。水平荷重は、ロードセルで測定した。直列ダンパーの変位は、荷重装置に設置のストロークセンサで測定した。またNES-DとLSDの変位は、図4に示す箇所に設置したレーザー式変位センサで測定した。

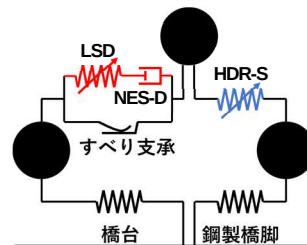


図3 構造モデル

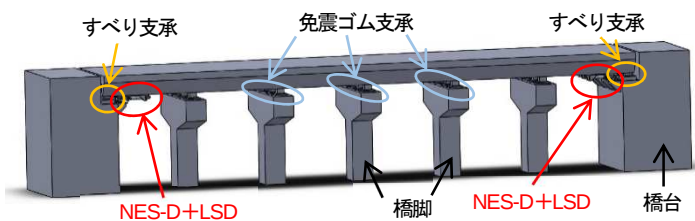


図1 機能分散免制震橋の概念

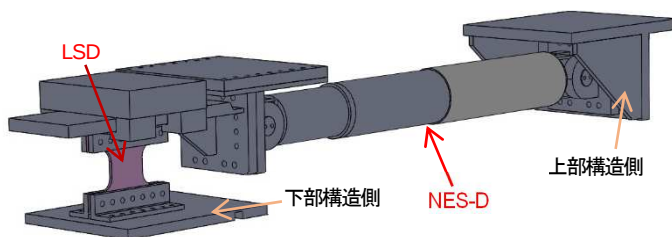


図2 直列ダンパー



(a) 荷重装置への設置状況 (b) NES-DとLSDの接合部

写真1 直列ダンパーの設置状況

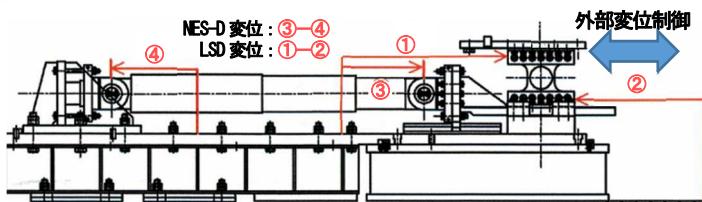


図4 レーザー変位計の設置箇所

キーワード：危機耐性、回復性、シリンダーダンパー、せん断パネルダンパー、実時間ハイブリッド実験

連絡先：〒210-9567 神奈川県川崎市川崎区白石町 2-1 日本 Casting (株) 技術研究所 TEL：044-322-3771

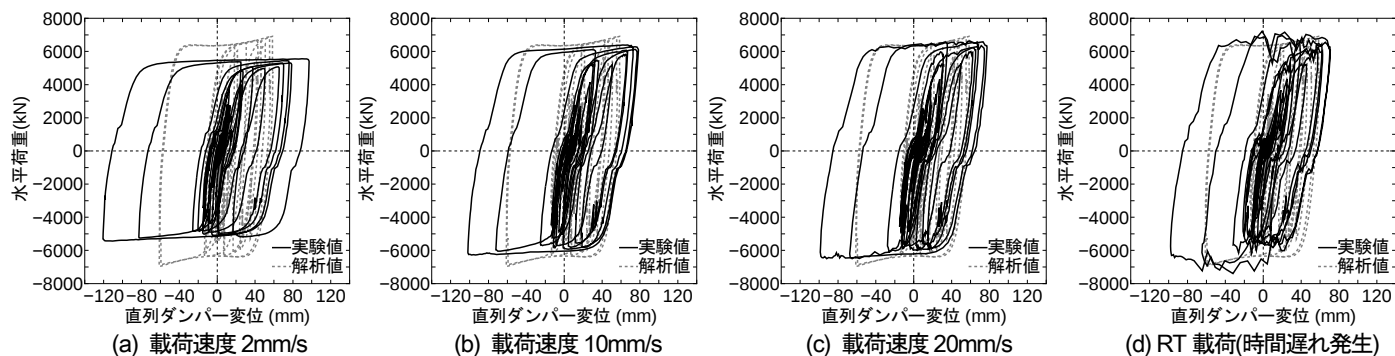


図5 Host-PC 演算でのハイブリッド実験結果

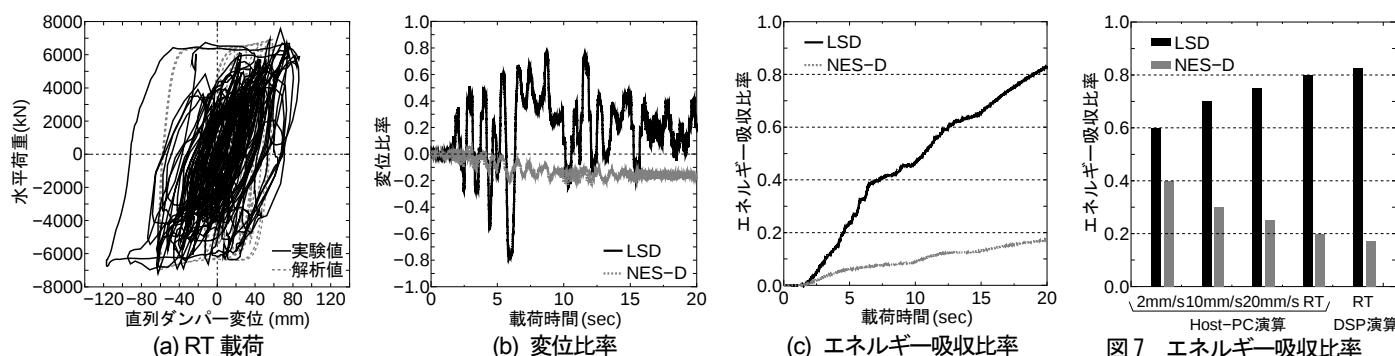


図6 DSP 演算でのハイブリッド実験結果

図7 エネルギー吸収比率
(Host-PC と DSP の比較)

3. 実験結果

3.1 Host-PC 演算でのハイブリッド実験

水平荷重—直列ダンパー変位関係を数値解析結果(以下、解析値)とともに図5に示す。水平荷重の値は相似率とすべり支承を考慮している。RT 载荷は時間遅れの影響で300秒を要した。解析値は過去に実施したNES-DとLSDの単体実験で得られた履歴曲線に近似させた履歴モデルを用いて計算した結果である。水平荷重は载荷速度を上げるほど解析値に漸近した。一方、直列ダンパー変位は解析値より大きい傾向を示した。これは、NES-Dの変位が载荷速度の影響で解析値よりも大きくなったためと考える。

3.2 DSP 演算でのハイブリッド実験

RT 载荷の実験時間は20秒程度であり入力波形にほぼ等しい。水平荷重—直列ダンパー変位関係を解析値とともに図6(a)に示す。相似率とすべり支承を考慮した最大水平荷重は解析値にほぼ等しい。一方で、直列ダンパー変位は解析値より大きい。Host-PC 演算での実験と同様、NES-Dの変位の影響と考える。図6(b)は、直列ダンパー変位の最大値に対するNES-DとLSDの変位比率を示しており、主たる変形がLSDであると分かる。直列ダンパーのエネルギー吸収量の総和に対するNES-DとLSDのエネルギー吸収比率を図6(c)に示す。LSDのエネルギー吸収率は全体の83%であった。

3.3 Host-PC 演算実験とDSP 演算実験の比較

Host-PCあるいはDSP 演算で実施した実験でのNES-DとLSDのエネルギー吸収比率を図7に示す。载荷速度を速くすることでLSDのエネルギー吸収比率が高くなると分かる。

写真2は、RT 载荷後のLSDを示している。LSDの応答変位は解析値より大きく、特にDSP 演算でのRT 载荷は、20秒で振動エネルギーを吸収したため、発熱により変色した。

4. まとめ

本報で得られた結果を以下に示す。

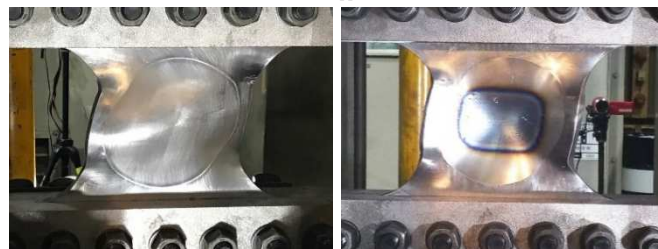
- Host-PC 演算の実験で得られた水平荷重は、速度が上がるほど解析値に漸近した。ただし、速度に依存するNES-Dの影響で、応答変位は低速になるほど解析値より大きい。
- DSP 演算で実施したRT 载荷の実験時間は20秒程度であり、入力波形とほぼ等しい。最大水平荷重は解析値にほぼ等しいが、応答変位は解析値より大きい傾向を示した。
- LSDのエネルギー吸収性能比率は、载荷速度を上げると大きくなる。LSDの変形比率も同様の傾向と考えられる。
- LSDの損傷性状は、载荷速度により相違がみられ、DSP 演算で実施した実験のLSDは発熱現象により変色した。

5. 今後の予定

実験システムの改善を行うとともに、波形特性の異なる地震動を用いた実時間ハイブリッド実験を行い、直列ダンパーの性能確認と構造物に与える影響を検証する。

【参考文献】

- 1) 党 他：危機耐性と経年劣化を考慮した機能分散型免振振橋、第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演概要集、pp.45-52, 2016.7.
- 2) 秋池 他：直列ダンパーの実時間ハイブリッド実験の開発、土木学会第74回年次学術講演会概要集、2019.9.(投稿中)
- 3) 山崎 他：危機耐性と経年劣化を考慮した機能分散型免振装置の基本的性能確認、日本地震工学会・大会2017梗概集、P4-22, pp.1-8, 2017.11.



(a) Host-PC 演算载荷(300 秒) (b) DSP 演算载荷(20 秒)

写真2 RT 载荷後のLSD