

危機耐性と経年変化を考慮した機能分散免制震システムの性能確認

日本 Casting (株) 正会員 ○石山 昌幸
 日本 Casting (株) 正会員 山崎 信宏
 埼玉大学大学院 学生会員 秋池 佑香

日本 Casting (株) 正会員 原田 孝志
 日本 Casting (株) 正会員 染谷 優太
 埼玉大学 正会員 党 紀

1. はじめに

近年、危機耐性やレジリエントを考慮した耐震設計体系の構築が検討されている¹⁾。「危機耐性」は、「狭義の設計段階で想定していなかった事象においても、構造物が、単体またはシステムとして、破滅的な状況に陥らないような性質」と定義されている¹⁾。ここで言う「狭義の設計」とは、「レベル1、レベル2等の設計地震動に対して構造物が要求性能を満足していることを照査で確認すること」とされている²⁾。このような設計体系が検討され始めたのは、2011年の東北地方太平洋沖地震や2016年の熊本地震で多くの構造物に被害が生じたためである。例えば、熊本地震では重要度の低い跨道橋が落橋したことで、重要度の高い高速道路の通行を一時的に妨げた。危機耐性を考慮した耐震設計では、このような事態を防ぐため、構造物単位の耐震性能照査のみならず、その構造物が周囲に及ぼす影響を考慮することになる。そのため、構造物あるいは装置に求められる機能とそれに対する性能の明確化はさらに重要となる。

免震ゴム支承に求められる機能は、鉛直および水平支持や移動・回転に加えて、減衰力や復元力などさまざまである。支承部の維持管理を行う上で、下部構造の天端をできるだけ煩雑としないことは望ましい。しかし、経年変化や大地震の経験により、個々の機能の評価が難しい場合もある。そのため、構造全体の危機耐性と交通システムのレジリエントを考慮すると、リスクと機能を複数の装置に分散する手法が有効とも言える。個々の装置の担う機能が絞られることで性能が明確となり、設計の信頼性が向上すると考えられる。

そこで筆者らは、機能が集中している支承部に着目し機能分散免制震システムを検討している³⁾。このシステムは、危機管理と経年変化の観点から、常時と地震時の機能をそれぞれの装置に分散させることが特徴である。例えば、図1に示すように、中間橋脚部は免震ゴム支承で対応するが、橋台部の鉛直支持はすべり支承で対応させる。そして、シリンダーダンパー（以降 NES-D）と鋼材系せん断パネルダンパー

（以降 LSD）を橋台部で直列に配置する。桁の温度伸縮による遅い変形は速度依存性を有する NES-D で対応し、地震時の速い変形には LSD で対応させる。想定外の事態でも特定の部材（LSD）に損傷を誘導することで橋梁の機能が速やかに回復できると考えられる。

ここでは、NES-D と LSD の組合せた場合の挙動を確認するために実施した性能試験について述べる。

2. 試験体

試験体は、定格抵抗力 500kN の NES-D と LY225 type13-6.5 の LSD である。これらを直列に組合せる（図2参照）。NES-D の定格抵抗力は試験装置の制約で決定した。その抵抗力 (F) は $C \times V^\alpha$ で求められる⁴⁾。ここで、C は定数、V は速度 (m/sec)、 α は減衰指数（本試験体は 0.1）である。ただし、最大速度が 0.1 mm/sec 以下の場合、NES-D の抵抗力は $C \times V^\alpha$ で求められる値よりも小さいことを確認している⁴⁾。これを考慮して LSD を設定した。その LSD の寸法と形状は、幅と高さが 169mm の正方形であり、四隅には半径 52mm の円弧を設けている。板厚は 13mm である。板の中央部の両面には、板厚が最小で板厚の半分 (6.5mm) となるように球状の凹み加工を施している。LSD の上下辺は、固定部材と高力ボルトで接合するために矩形としてボルト孔を設けている。LSD の材質は LY225、ミルシートに記載された降伏応力と引張強さは 206N/mm² と 310N/mm² である。これらの値と LSD の最小断面積 (1587mm²) から求めた LSD の降伏荷重は 189 kN、定格荷重は 284kN である。

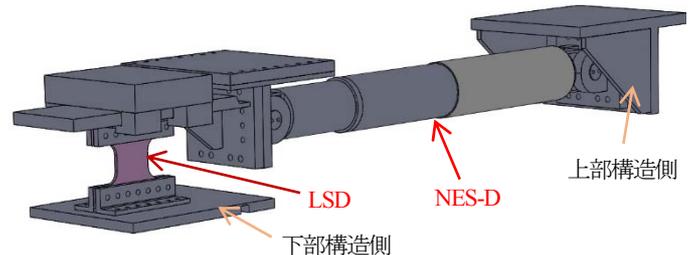


図2 NES-D と LSD の組合せ例

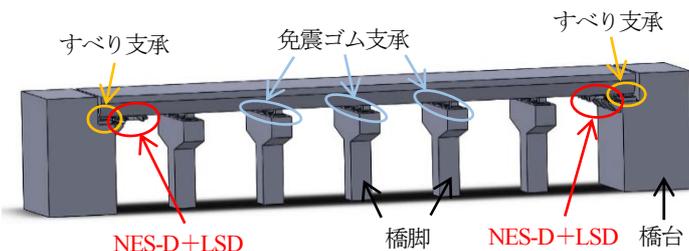


図1 機能分散免制震橋の概念例



(a) 全景 (b) NES-D と LSD の接続部
 写真1 試験装置への NES-D と LSD の設置状況

キーワード：危機耐性、経年変化、機能分散免制震システム、シリンダーダンパー、せん断パネルダンパー
 連絡先：〒210-9567 神奈川県川崎市川崎区白石町 2-1 日本 Casting (株) エンジニアリング事業部 TEL：044-355-5033

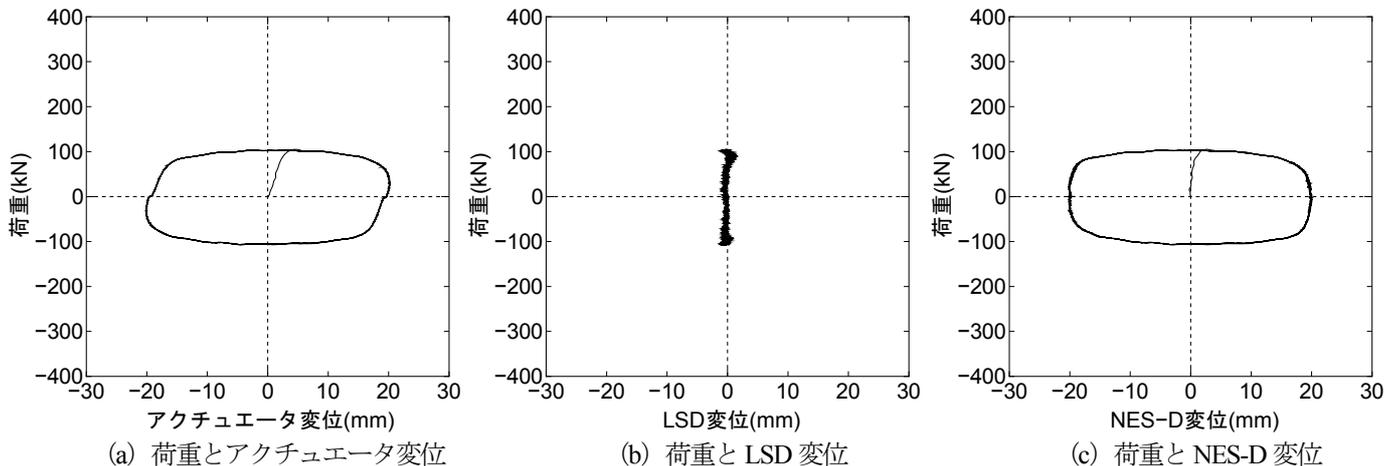


図3 最大速度 0.1mm/sec (加振周波数 0.0008Hz) の試験結果

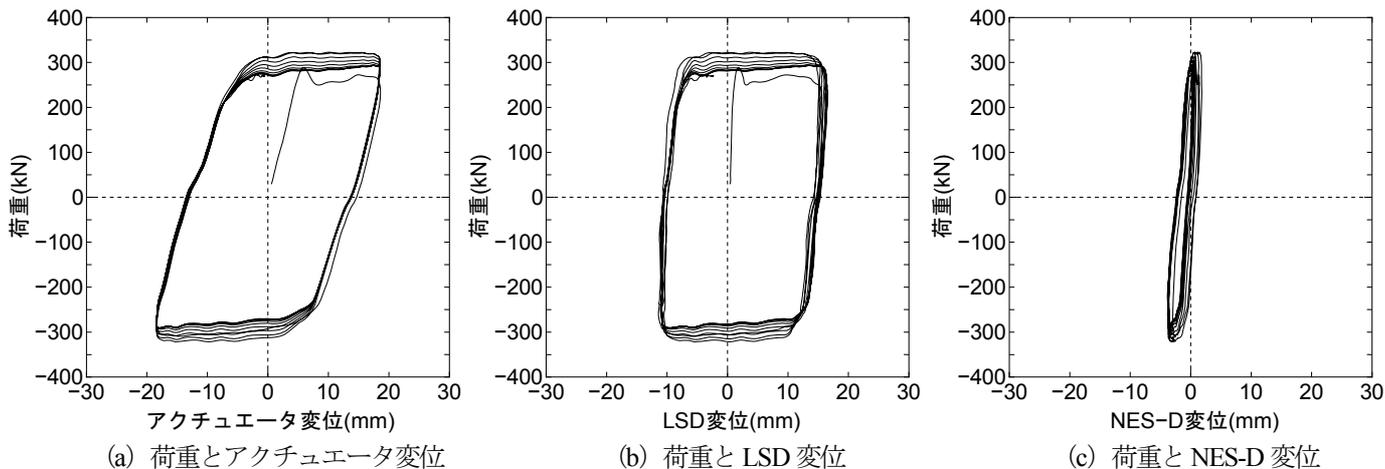


図4 最大速度 251.3mm/sec (加振周波数 2.0Hz) の試験結果

3. 性能確認試験

試験は、日本鑄造の動的二軸試験機で行った。試験装置への試験体の設置状況を写真1に示す。ここでは、アクチュエータ側が下部構造、ブラケット側が上部構造を想定している。アクチュエータを加振することで、LSD を介して NES-D に荷重が伝達される。加振は、鉛直変位を固定とした正弦波による水平変位制御とした。加振周波数は 0.0008, 0.01, 0.05, 0.1, 0.4, 2.0Hz の 6 種類、水平変位は全ての周波数で±20mmとした。よって、最大速度は0.1, 1.3, 6.3, 12.6, 50.3, 251.3mm/sec となる。加振繰返し数は 10 回(最大速度 0.1 mm/sec のみ 5 回)とした。NES-D と LSD の変形は、レーザー変位計を用いて不動点からそれぞれ測定した。

最大速度 0.1mm/sec と 251.3mm/sec の試験により得られた荷重と変位の関係を図3、図4に示す。図の横軸に示す変位は、(a) がアクチュエータ、(b) が LSD、そして (c) が NES-D である。図3に示す最大速度 0.1mm/sec では、主たる変形が NES-D に生じており LSD は弾性範囲内であった。このことから、温度伸縮時のようなゆっくりとした速度では NES-D が対応すると判断できる。なお、NES-D の変形で生じた荷重の最大値は 100kN 程度であり、既報の結果⁴⁾とほぼ一致する。一方、最大速度 251.3 mm (図4) での主たる変形は LSD であり NES-D にはほとんど変形が生じていない。以

上より、NES-D と LSD を適切に組合せることで、温度伸縮時と地震時の変形に対応する装置の分散が可能と考えられる。なお、LSD の降伏荷重は 250kN 程度でありミルシートから求めた値よりも高い。これは速度依存と考えられる。最大荷重は 300kN 程度で LSD の定格荷重にほぼ等しい。

4. まとめと今後の予定

危機耐性と経年変化の観点から、機能分散免制震システムとして速度依存性を有する NES-D と鋼材系 LSD の組合せを提案した。その組合せて性能試験を行い、温度伸縮と地震時の変形に対応する装置の分散が可能であることを確認した。今後は設計式の構築を進め、実時間ハイブリッド試験を行う。

【参考文献】

- 1) 本田, 他: 「危機耐性」を考慮した耐震設計体系(1)試案構築にむけての考察, 第35回地震工学研究発表会, pp.824_1~12, 2015.
- 2) 高橋, 他: 「危機耐性」を考慮した耐震設計体系(3)道路橋示方書から読み取る「危機耐性」と国内外の動向を踏まえた課題の整理, 第35回地震工学研究発表会, pp.806_1~10, 2015.
- 3) 党, 他: 危機耐性と経年劣化を考慮した機能分離型免制振橋, 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年7月.
- 4) 松本, 他: 粘性系シリンドーダンパーの耐久性確認試験, 土木学会第69回年次学術講演会, I-070, pp.137~138, 2014年9月.