

京都大学工学部 学生員 ○柑本 慎一郎
 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 京都大学工学研究科 正会員 豊岡 亮洋

1. はじめに

鉄道橋は、常時及び L1 地震時には列車の走行安定性を確保するために線路直角方向の変位を拘束する移動制限装置の設置が必要不可欠である。一方で、L2 地震時にはこの移動制限装置が解除されて免震構造に移行し構造物の損傷を低減することが望ましいと考えられる。本研究では、このような性能を満たす移動制限装置として提案されている座屈トリガー型移動制限装置を対象として、応答低減効果の観点から、望ましい移動制限装置の特性について解析的に明らかにした。また、高速アクチュエータによる動的载荷を行い、その荷重 - 変位特性及びこの速度依存性を確認した。

2. 座屈トリガー型移動制限装置付免震支承

鉄道橋は図 1 に示すように、常時・L1 地震時における列車走行性の確保と、L2 地震時における構造物の免震化という 2 つの条件を満たす必要がある。

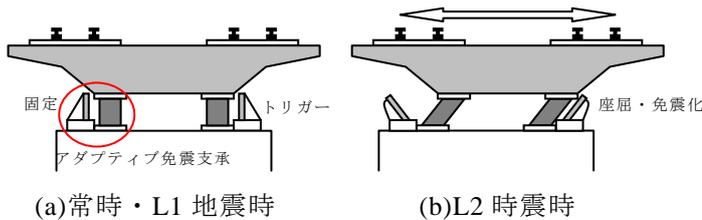


図 1 アダプティブ免震支承の概念図

このような構造とするために、移動制限装置が有すべき性能は図 2 に示すような特性が望ましいと考えられる。今回の研究では鋼板座屈を利用したトリガー型移動制限装置付免震支承を用いた。

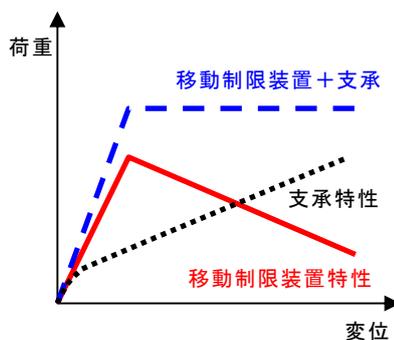


図 2 支承の特性の概念図

3. 2 自由度モデルによる解析

3.1 概要

移動制限装置に要求される性能を構造物の損傷・応答低減の観点から明らかにするために、図 3 に示すように、橋脚及び橋桁を取り出した 2 自

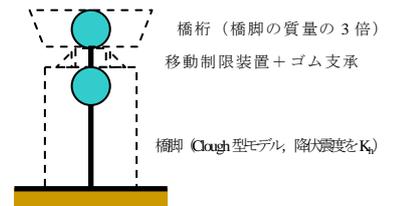


図 3 モデル図

由度モデルにゴム支承と移動制限装置のモデルを組み込んで応答解析を行った。ゴム支承は線形モデルとし、移動制限装置はスリップ型の二次剛性が負であるモデルを用い、降伏変位を 5mm とし、降伏後は変位 100mm まで耐力が直線的に減少し、それ以降は荷重が 0 となるようなモデルとした。解析結果を整理する際に、以下の 3 点に着目した。

- L1 地震時に移動制限装置が降伏しない
- L2 地震時には移動制限装置が降伏し免震構造化する
- 応答を低減できている

本解析では、橋脚と橋桁が剛結されている場合の固有周期 T_1 及び橋脚の降伏荷重に対する移動制限装置の降伏荷重の比 a をパラメータとし、これらを可変にしてパラメトリック解析を行うことにより、移動制限装置の耐力について検討した。なお、免震構造に移行した後の構造物の固有周期を T_1 の 2 倍とした。降伏震度 K_h は 3 パターン (0.25, 0.5, 1.0) 設定した。また、入力波は、「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」に記載の基盤地震動波形 (G3 種地盤用) を用いた。

3.2 解析結果

移動制限装置を設置せずに免震支承のみの場合の応答に対する移動制限装置を設置した場合の応答の比を横軸 T_1 ・縦軸 a のパラメータ平面上における各点において解析し、等高線として表現した。本解析では、橋脚の最大変位、橋桁と橋脚の相対変位、橋

桁の絶対加速度の3項目について検討した。例として図4に $K_h=0.25$ の場合の橋脚の最大応答変位比を示す。

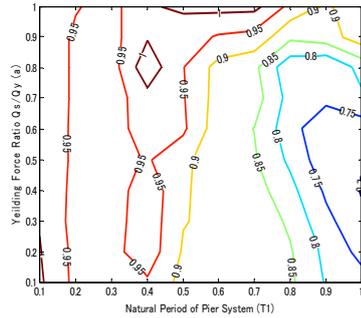


図4 橋脚の最大応答変位比

表1 解析結果

	T_1	a
0.25	0.1~1.0	0.9~1.0
0.5	0.1~0.5	0.9~1.0
1.0	0.1~0.5	0.8~1.0

解析結果より3.1で挙げた3点を満たすような移動制限装置の特性を表1に示す。表1に示す範囲では、L1地震時には装置が降伏せず、L2地震時には降伏する。また、応答を低減することもできた。

4. 高速アクチュエータを用いた動的载荷実験

4.1 概要

本実験では、先述のアダプティブ免震支承として座屈トリガー型移動制限装置付免震支承を対象として、高速アクチュエータによる動的载荷を行い、その荷重-変位特性及びこの速度依存性を確認した。

4.2 実験装置概要

実験装置全体図を図5に示す。実験供試体には、ゴム寸法 $306\text{mm} \times 306\text{mm}$ 、ゴム総厚 $9.3\text{mm} \times 6$ 層 = 55.8mm のLRB（鉛プラグ入り積層ゴム支承）に座屈鋼板の幅 100mm 、厚さ 6mm のトリガー型移動制限装置を取り付けたものを用いた。

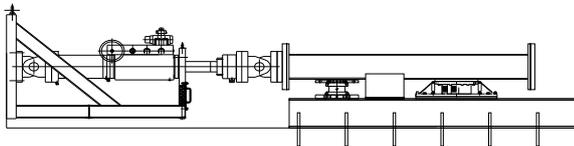


図5 実験装置全体図

4.3 実験内容

本実験の実験ケースを表2に示す。まず座屈トリガー型移動制限装置を設置せずに、LRBのみで3ケース（case 1~case 3）载荷を行い、次に片側のみ（アクチュエータ側）座屈トリガー型移動制限装置を設置し、3ケース（case 4~case 6）载荷を行った。载荷は変位制御で行い最大変位は 100mm とし、入力波は座屈トリガー型移動制限装置に常に一定のひず

み速度が生じるような三角波で一方向に载荷した。

表2 実験ケース

	ケース	载荷速度 (kine)
LRBのみで载荷	case 1	0.1
	case 2	10
	case 3	25
LRB+移動制限装置片側で载荷	case 4	0.1
	case 5	10
	case 6	25

4.3 実験結果

case 4~case 6より得たLRB+移動制限装置片側で载荷した場合の履歴曲線から、case 1~case 3より得たLRBのみで载荷した場合の履歴曲線を引くことにより移動制限装置の履歴曲線を得た。移動制限装置の履歴曲線の比較を図6に示す。移動制限装置の設計降伏荷重は 80kN であり、それぞれの载荷速度による降伏荷重は、case 4では 77.9kN 、case 5では 89.2kN 、case 6では 97.8kN であった。降伏荷重は载荷速度が最も遅いcase 4と比較して、case 5では 14.5% 、case 6では 25.6% 増加していた。また、降伏後の耐力は、载荷速度による影響はほぼ見られなかった。

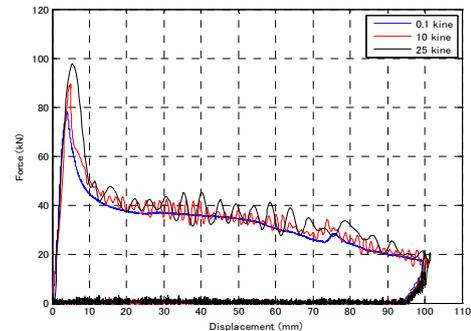


図6 移動制限装置の荷重-変位履歴の比較

5. まとめ

本研究のような手順で解析を行うことにより、構造物及び移動制限装置の設計における最適値の目安を検討することができると考えられる。

载荷実験により、座屈トリガー型移動制限装置の降伏荷重は载荷速度に依存しており、今回の実験では静的な場合と比較して最大で約 25% の増加がみられた。