

# 鉄道構造物の免震化における移動制限装置の開発に関する研究

|              |      |         |
|--------------|------|---------|
| 京都大学大学院      | 学生員  | ○ 川村 崇成 |
| 京都大学大学院工学研究科 | フェロー | 家村 浩和   |
| 鉄道総合技術研究所    | 正会員  | 池田 学    |
| 鉄道総合技術研究所    | 正会員  | 豊岡 亮洋   |

## 1. はじめに

大規模地震に対しては、免震構造を採用することにより、慣性力の低減と減衰付加により下部工の損傷を軽微に留める構造とすることが近年一般的に行われている。こうした免震構造の利点は鉄道橋においても共通のものであるが、常時・中規模地震時には列車の走行性を確保するために線路直角方向の変位を規定値以下に抑えなければならない。このような鉄道特有の問題を考慮した場合、常時・中小規模地震時には線路直角方向の変位を拘束して走行安全性を確保し、大規模地震時には破壊して構造系を免震構造化させ損傷を低減するという2つの機能を有する移動制限装置を開発する必要があると考えられる。本研究では、上記のようなコンセプトを満足するデバイスを3タイプ考案し、模型試験体を用いた振動台実験を行った。そして実験の再現解析を行い、設計計算に適用可能な各デバイスの非線形モデル化について検討した。

## 2. 移動制限装置

常時・中小規模地震時における列車走行安全性の確保と大規模地震時における構造の免震化という2つの目的を満足させる構造とするために、免震支承とともに用いる移動制限装置が有すべき性能としては、常時・中小規模地震時には応答を弾性範囲に留め変位を抑制すると同時に、大規模地震時には塑性化し徐々に破断する特性が望ましいと考えられる。このような性能を持つよう作成された移動制限装置を図1～図3に示す<sup>1)2)3)</sup>。それぞれ、ブロック基部の塑性化と鋼板の座屈を利用した座屈トリガー型、ブロック基部のねじり破壊を利用したねじり破壊型、ボルトのせん断破壊を利用したボルト破断型、である。

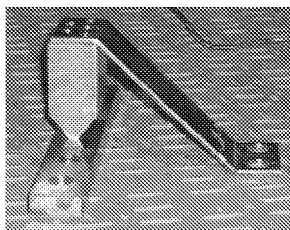


図1 座屈トリガー型移動制限装置

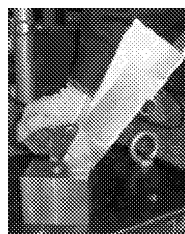


図2 ねじり破壊型移動制限装置

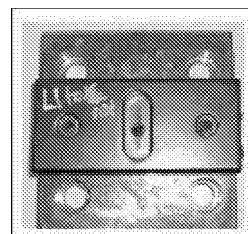


図3 ボルト破断型移動制限装置

## 3. 振動台実験の結果

作成された3種類の移動制限装置を用いて、実大構造模型に対する振動台実験を行った<sup>4)5)6)</sup>。移動制限装置の性能は、実験で使用した地震波を考慮して、変位5mmにおいて荷重25kN程度で降伏・破断するように設計された。実験結果より、今回作成された移動制限装置はいずれも中規模程度の地震時までは応答を弾性範囲内に抑え、大規模地震時には破壊されて構造を免震化させることが確認できた。また、実験時の移動制限装置の変位（変形量）と移動制限装置に働いていた荷重のデータより、それぞれの移動制限装置について履歴曲線を求めた。図4～図6にその履歴曲線を示す。

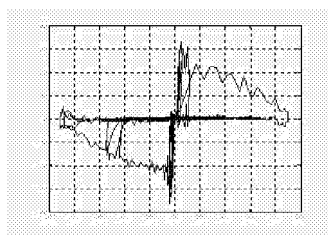


図4 履歴曲線（座屈トリガー型）

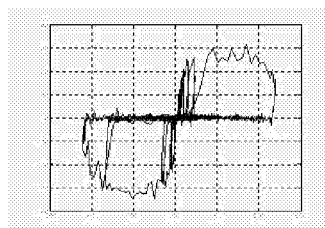


図5 履歴曲線（ねじり破壊型）

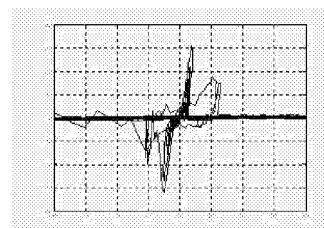


図6 履歴曲線（ボルト破断型）

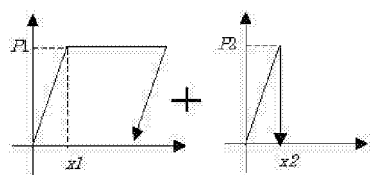
Key Words: 鉄道免震構造化, 移動制限装置

〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 tel.(075)753-5088 fax.(075)753-5926

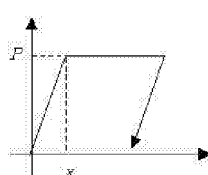
#### 4. 再現解析

振動台実験の結果により得られた3種類の移動制限装置の地震時動的特性を再現可能な非線形モデルを構築するため、実験結果の再現解析を行った。3種類の移動制限装置は塑性後完全に破断するまでに複雑な挙動を示しており、基本的にはこうした特性を忠実に再現するモデル化が必要となる。しかし設計計算に用いることを想定した場合、なるべくパラメータが少なく、かつ一般的な解析ソフトでも表現可能なモデルを組み合わせることによりモデル化することが望ましいと考えられる。

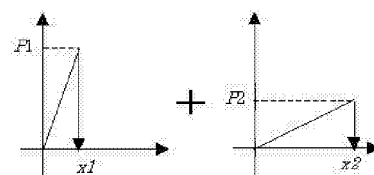
このため、座屈トリガー型はバイリニアスリップ要素とギャップ要素の組み合わせで（図7）、ねじり破壊型はバイリニアスリップ要素（図8）で、ボルト破断型はギャップ要素を2つ組み合わせで（図9）表現した。バイリニアスリップ要素はある荷重に達すると完全弾塑性型のように耐力が頭打ちとなり、ギャップ要素は耐力が0となる。いずれも一度経験した荷重-変位経路は二度とたどらない履歴法則となっており、これにより過去に経験した最大変位以上になってはじめて抵抗力が発生するという供試体の挙動を表現可能である。座屈トリガー型・ボルト破断型試験体は塑性化後耐力が低下するため、2つの要素を組み合わせで用いている。



（バイリニアスリップ）+（ギャップ）  
図7 座屈トリガー型モデル



（バイリニアスリップ）  
図8 ねじり破壊型モデル



（ギャップ）+（ギャップ）  
図9 ボルト破断型モデル

なお、この再現解析は解析ソフト TDAP を用いて行った。移動制限装置のモデルについては、TDAP に組み込まれている要素モデルの中から、バイリニアスリップ型モデル・ギャップ型モデルに相当するものを適用した。また免震支承についても、TDAP に組み込まれている高減衰積層ゴムモデルを使用した。

図10～図12に、座屈トリガー型、ねじり破壊型、ボルト破断型の3つの移動制限装置それぞれについて、大規模地震時を想定した場合の桁の相対変位応答の計算値を実験値と比較して示す。いずれの移動制限装置の場合においても、全体的な応答波形の傾向や最大変位応答が現れるタイミングは良好に実験結果を再現できており、また移動制限装置の降伏・破断のタイミングもほぼ正確に再現できていた。よって、今回作成した移動制限装置について、その動特性を簡易なモデルの組み合わせで表現することが可能であることが明らかとなった。

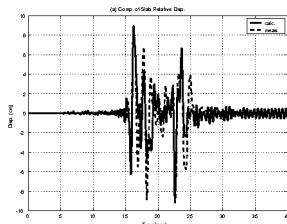


図10 座屈トリガー型移動制限装置

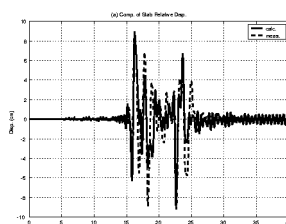


図11 ねじり破壊型移動制限装置

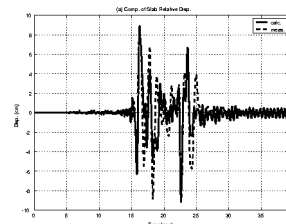


図12 ボルト破断型移動制限装置

#### 5. 結論

本研究では、常時・中小規模地震時における列車走行安全性の確保と大規模地震時における構造の免震化という2つの目的を満足させる構造として、免震支承とともに用いる移動制限装置を3タイプ考案・試作し、模型試験体を用いた振動台実験を行った。その実験結果をもとに、設計計算に適用可能な各デバイスの簡易な非線形モデルを構築した。

#### 参考文献

- 1) 鉄道免震構造における鋼材の座屈特性を利用した緩衝型移動制限装置の開発, 土木学会第59回年次学術講演会 I-390, 2004.9
- 2) 鉄道免震支承用緩衝型移動制限装置の開発, 土木学会第59回年次学術講演会 I-393, 2004.9
- 3) 鉄道免震構造に対するボルト破断型緩衝ストッパーの実験的研究, 土木学会第59回年次学術講演会 I-392, 2004.9
- 4) 鋼材の座屈特性を利用した鉄道免震用緩衝型移動制限装置の振動台実験, 土木学会第59回年次学術講演会 I-389, 2004.9
- 5) ねじり破壊型免震支承用移動制限装置の振動台実験, 土木学会第59回年次学術講演会 I-388, 2004.9
- 6) 鉄道免震用ボルト破断型緩衝ストッパーの振動台実験, 土木学会第59回年次学術講演会 I-391, 2004.9
- 7) 鉄道免震構造用緩衝型移動制限装置の振動台実験, 第8回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 2005.2