

狭隘箇所を設置可能な落橋防止機能を有する制震装置の開発 (その2：動的解析による制震効果の検証)

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○名波健吾 和田一範 豊岡亮洋 土井達也 斉藤雅充
西日本旅客鉄道(株) 正会員 福本守

1. はじめに 2016年熊本地震においては、ロッキング橋脚を有する道路橋が桁の移動を受けて落橋した。同様の形式の橋梁は鉄道にも多数存在することから、国土交通省鉄道局の省令が改正されるなど、対策が急務となっている。一方で耐震対策を進める際、施工スペースの問題から円滑に実施できない場合も多い。そこで、著者らはその¹⁾で、ロッキング橋脚を有する橋梁に対して狭隘箇所²⁾に施工可能な落橋防止機能を有する制震装置を提案し、要素実験により非線形特性を評価した。本稿(その2)では提案装置を取り付けた場合の実橋モデルの動的解析を実施し、提案装置による制震効果(応答変位の低減効果)を定量的に評価する。

2. 解析概要 提案装置¹⁾を導入した3次元骨組モデルに対して動的解析を実施し、制震効果を確認する。

解析モデルは中間にロッキング橋脚を有する鋼橋梁を基にしており、3次元の梁-ばね系モデルとした(図1)。鋼桁およびロッキング橋脚は梁部材でモデル化した。ピボット支承は既往検討²⁾を参考に水平2方向に作用する回転ばね要素でモデル化した(図2(a))。桁支承ばねは破壊後に剛性がほぼ0となるギャップ型要素でモデル化した(図2(b))。提案装置については鋼棒の径と本数を試行錯誤的に変化させて効果検証を実施したが、本稿ではその最終諸元である径80mm、本数3本での結果を示す。このときの非線形特性は次のように設定した。まず、その¹⁾で述べた要素実験(径50mm、本数3本)の荷重-変位関係に対して、双曲線モデルでフィッティングした(図3(a))。

次に、図3(a)の双曲線モデル(径50mm、本数3本)における降伏荷重と降伏変位に対する径80mm、本数3本の装置における降伏荷重と降伏変位の比(P_{yr} , δ_{yr})を用いて双曲線モデルの関係式を補正することで設定した(図3(b))。なお、荷重の作用高さは実施工のスケールを想定し、要素実験と同様の400mmとしている。減衰特性は、初期剛性

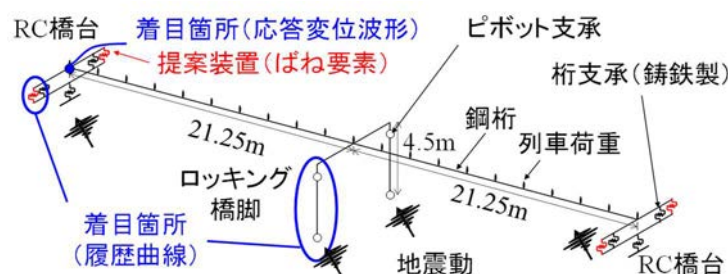
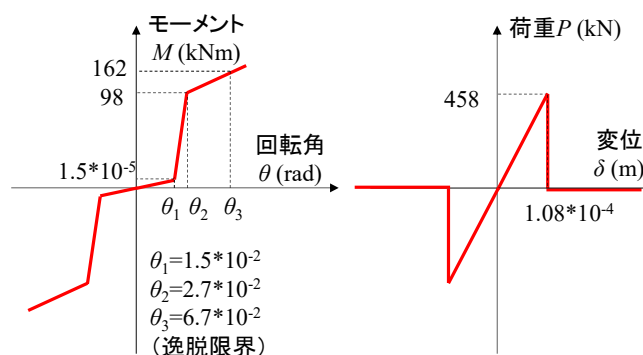
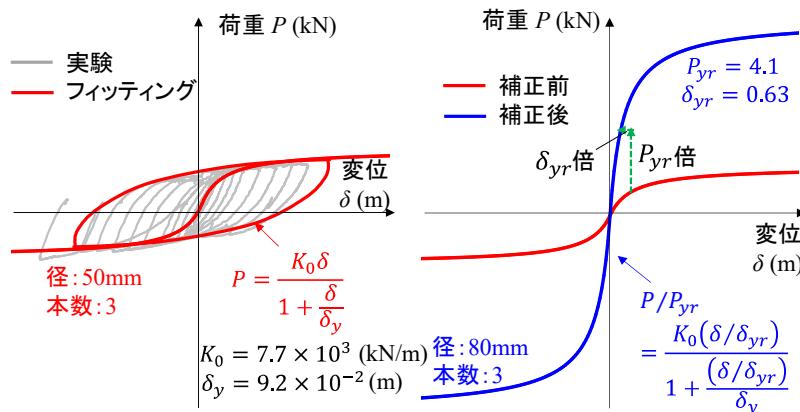


図1 解析モデル



(a) ピボット支承 (b) 桁支承

図2 非線形特性(支承)



(a) 要素試験結果¹⁾のフィッティング (b) 鋼棒径、本数を反映した補正方法

図3 非線形特性の設定方法(提案装置)

キーワード ロッキング橋脚, 制震機能, 落橋防止, 狭隘施工, 非線形特性

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL:042-573-7336

の大きい要素について減衰の過大評価を防ぐため、要素別 Rayleigh 減衰とした。前記のモデルに「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」³⁾の L2 地震動スペクトル II(G3 地盤) (図 4) を線路直角方向に入力し、時間刻み 0.01s で解析を実施した。

以上の条件で算出される応答値について、目標となる応答レベルを設定して、制震効果を確認する。L2 地震動 (図 4) に対する目標となる応答レベルを評価する際に、着目すべき部位はピボット支承、桁支承、ロッキング橋脚などがある。本検討では、ピボット支承は最大応答回転角が逸脱限界角 (図 2(a) の $\theta_3=6.7\times 10^{-2}\text{rad}$) を超過しないことを目標とした。次に、桁支承は損傷を許容するが、落橋防止機能の照査をその ³⁾で実施することで桁座からの落橋を防ぐこととした。続いて、ロッキング橋脚については両端ピン構造であり、慣性力を負担しないため応答評価は省略した。

3. 解析結果 前章の条件にて非線形動的解析を行った結果として

て、図 5 に桁端部の応答変位波形を示す。また、図 6 にピボット支承および提案装置の履歴曲線を示す。これらは図 1 の着目箇所の結果である。図 5 より、提案装置により応答変位が大幅に抑制できることが確認できる。無対策時の応答変位 (絶対値) の最大値は 64.9cm、装置ありの応答変位 (絶対値) の最大値は 16.9cm であった。従って、装置の設置により最大応答変位を 75%程度抑制できた。

また、図 6(a) より無対策ではピボット支承の最大回転角は $1.8\times 10^{-1}\text{rad}$ となり逸脱限界角 ($6.7\times 10^{-2}\text{rad}$) を超過する。一方、装置ありの

条件では最大回転角は $4.8\times 10^{-2}\text{rad}$ となり逸脱限界角を超過していない。図 6(b) より、提案装置の履歴曲線はループを描き、履歴減衰による制震効果が発揮されることが確認できる。以上より、設計地震動を入力した場合に、応答値を目標レベルまで低減することができた。なお、実際の設計では上記の内容に加えて桁の死荷重の支持など落橋防止機能に関する照査を別途実施する必要がある点に注意を要する。

4. おわりに 本稿では狭隘箇所にも適用可能であり、落橋防止機能を有する制震装置を実橋に導入した場合の制震効果を骨組モデルの動的解析により検証した。その結果、提案装置を用いることにより最大応答変位が十分に低減できることが確認された。著者らは上記と併せて、解析モデルを 1 自由度系に変換することで多数の解析を実施し、目標性能に応じた装置諸元を検討する試みも実施している⁴⁾。なお、本稿に続くその 3 では本装置の桁取り付け部に関する照査方法について検討した内容を述べる⁵⁾。

参考文献 1) 和田ら：狭隘箇所にも設置可能な落橋防止機能を有する制震装置の開発 (その 1：装置概要と要素実験による非線形特性評価) (投稿中)，第76回土木学会年次学術講演会論文集，2021. 2) 和田ら：ピボット支承を有する旧式鋼鉄道橋の構造形式の違いによる地震時挙動への影響，構造工学論文集，Vol.60A，pp.303-315，2014. 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012. 4) 名波ら：狭あい箇所にも施工可能な制震機能を有する落橋防止装置の提案と制震効果の試算，第23回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集，pp.147-154，2021. 5) 斉藤ら：狭隘箇所にも設置可能な落橋防止機能を有する制震装置の開発 (その 3：FEM解析による桁取り付け部の評価) (投稿中)，第76回土木学会年次学術講演会論文集，2021.

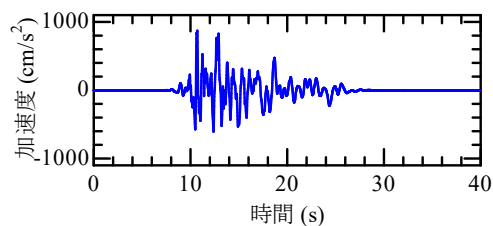


図 4 動的解析に用いる地震波形

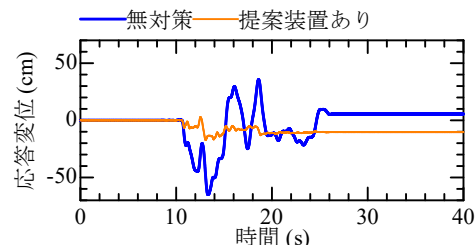
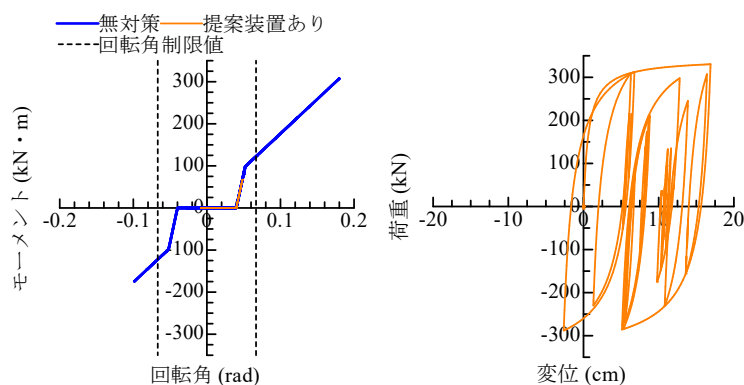


図 5 応答変位波形



(a) ピボット支承

(b) 提案装置

図 6 履歴曲線