

狭隘箇所に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)

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

1.はじめに 2016年の熊本地震では桁の過大变位によりロッキング橋脚を有する道路橋が落橋したり、鉄道においても同形式の橋梁が都市部の重要箇所などに多数存在するため、国土交通省の省令が改正され、落橋防止対策の推進が求められている²⁾。また、都市部の重要箇所における地震被害は社会へ与える影響が大きいため、落橋

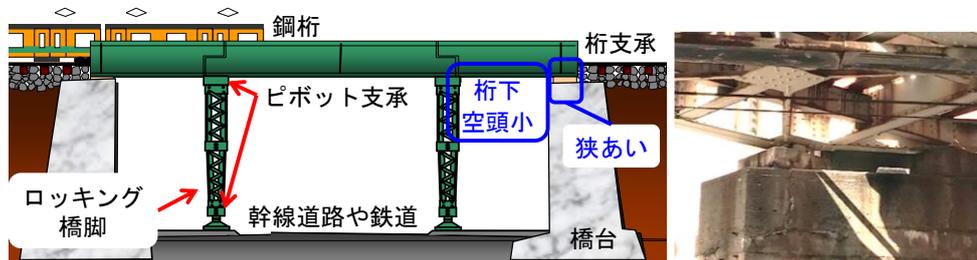


図1 ロッキング橋脚を有する鉄道橋梁

表1 既存の対策工法と要求性能の関係

工法	性能	落橋防止	復旧性	狭隘施工	桁下支障無	備考
桁座拡幅		○	×	×	×	
ダンパー		×	○	×	△	
支承補強		×	○	○	○	下部工負荷大

防止対策に加えて桁の応答変位をなるべく抑制させる対策を施し、地震被害を低減させることで復旧性を高めることも重要といえる。上述した復旧性確保と落橋防止を同時に実現する方法として、ダンパー設置や支承補強などで桁の応答を低減させる対策と、桁座拡幅などで落橋を防止する対策を同時に実施する必要がある。しかし、都市部の橋梁は施工上の制約がある場合が多い。例えば、桁支承部が狭隘で施工や装置の設置に十分なスペースが取れない場合や、桁下が鉄道や道路等に使用されており桁下空頭を侵すことができない場合などである。そのため、既存の対策で復旧性確保と落橋防止を同時に実現することは難しい。

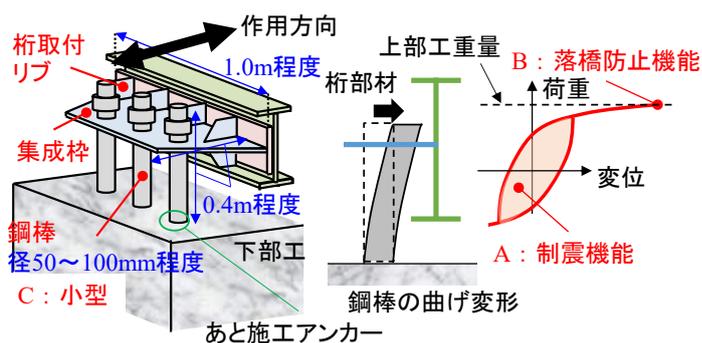


図2 提案装置の概念図

そこで、ロッキング橋脚を有する橋梁(図1)の既存工法の課題(表1)を解決する装置の提案を行う。本稿(その1)では、提案装置の概要と要素実験による装置の非線形特性評価について述べ、その²⁾では動的解析による装置の導入効果検証、その³⁾ではFEM解析による装置の取り付け法の検討について述べる。

2. 提案装置の概要 提案装置は複数の鋼棒(SS400材を想定)を下部工天端にあと施工アンカーで設置し、集成枠を介して桁に取り付けることで、桁の慣性力を一様に鋼棒群に伝達する構造である(図2)。鋼棒の塑性化後の曲げ変形によるエネルギー吸収効果で制震機能を有する(図2のA)。また、鋼棒の高い延性で上部工重量を支持することで落橋防止機能も有する(図2のB)。さらに、鋼棒径が50~100mm程度、装置は幅1.0m×高さ0.4m程度の小型サイズ(図2のC)を想定しているため、狭隘な桁支承部上に設置可能であり、桁下空頭を侵さない。以上によって、開発装置は表1に示した各要求性能が満たされると考えられる。

3. 要素実験による非線形特性評価 装置を開発するにあたり、まずは、2.で述べたエネルギー吸収効果や高い延性といった装置の根幹を成す非線形特性を評価する必要がある。そこで以下に述べる要素実験を実施した。RCス

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 鉄道地震工学研究センター TEL:042-573-7336

タブに先施工アンカーで 500mm 深さまで埋め込んだ径 50mm の SS400 材の鋼棒 3 本（鋼棒 A～C）を集成枠で一体化させて、高さ 400mm 位置に静的荷重を作用させた（図 3）。荷重ステップは荷重－変位関係の最初の折れ点を降伏変位 $\delta_y (=4\text{mm})$ とし、 δ_y の整数倍の変位を正負交番で荷重した。荷重はジャッキのロードセル、変位（水平成分）は各鋼棒についてレーザー変位計にて計測した。また鋼棒基部にひずみゲージを貼り付け、軸ひずみと曲げひずみを評価した。

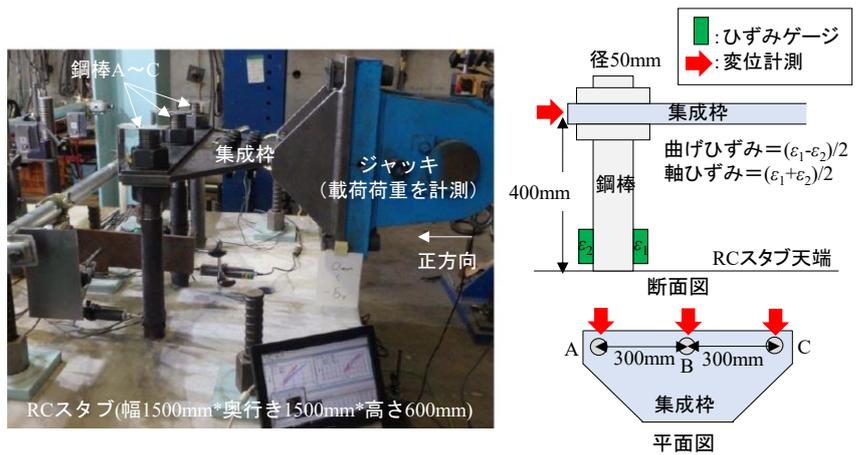


図 3 正負交番荷重試験の概要

試験によって得られた荷重－変位関係を図 4 に示し、変位と曲げひずみ、軸ひずみの関係を図 5 に示す。ここで、変位やひずみは各鋼棒の計測結果の平均とした。なお、後述のように鋼棒が曲げ変形から伸び変形に移行した段階（ $-20\delta_y$ ）で所定の非線形特性は十分確認できたと判断して試験終了とした。図 4 より鋼棒の塑性化が進行するとともに、双曲線形状で履歴ループを描くことがわかる。これにより、エネルギー吸収効果（履歴減衰約 45%）が発揮され、制震機能が発揮される。また、図 5 より鋼棒が曲げ変形していること、水平変位が大きい領域では幾何学的非線形性により、僅かに軸ひずみが生じることがわかる。なお、鋼棒 3 本の許容せん断耐力は SS400 の規格値（短期の許容せん断応力度 136N/mm^2 ）を参考にすると約 800kN であるため、十分余裕があるといえる。次に、最終荷重時点の鋼棒 B 基部の状況を図 6 に示すが、鋼棒基部に目立った損傷は見られないことがわかる。

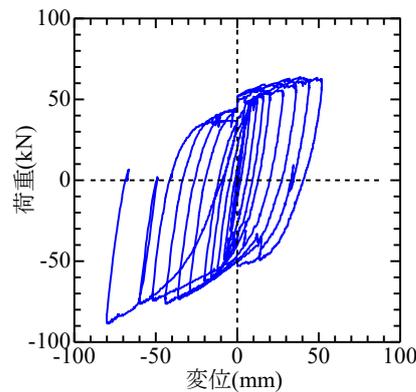


図 4 荷重－変位関係

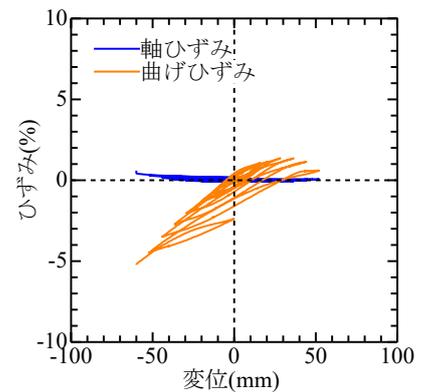


図 5 変位－ひずみ関係



図 6 荷重終了時の状況（鋼棒 B）

以上より、本装置がせん断耐力に対して十分に余裕があり、高い延性を有していることがわかった。

4. おわりに 本稿では、ロックンク橋脚を有する橋梁を対象とした狭隘施工可能で落橋防止機能を有する制震装置の概要と要素実験による非線形特性の評価について述べた。要素実験の結果、装置は双曲線型の履歴特性でエネルギー吸収効果が発揮されるため制震機能を有し、さらに落橋防止機能に必要となる高い延性を有することが確認できた。その 2³⁾では実橋を模擬した骨組モデルに本稿で評価した装置の非線形特性を設定し、動的解析により制震効果を検証した内容を述べる。

参考文献 1) 高橋良和：2016年熊本地震による橋梁被害と前震後の調査を踏まえた被害メカニズム推定，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.73, No.4, I-225-I_235, 2017.，2)国土交通省鉄道局：特定鉄道等施設に係る耐震補強に関する省令・告示・指針，2018.，3) 名波健吾，土井達也，豊岡亮洋，斉藤雅充，和田一範，福本守：狭隘箇所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），（投稿中），第76回土木学会年次学術講演会論文集，2021.，4) 斉藤雅充，土井達也，豊岡亮洋，名波健吾，和田一範，福本守：狭隘箇所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.