

新形式落橋防止装置を用いた耐震補強事例

シバタ工業株式会社		浮島 徹
鉄道総合技術研究所	正会員	村田 清満
同 上	正会員	高山 智宏
同 上	正会員	後藤 貴士
シバタ工業株式会社	正会員	生駒 信康
同 上		小野田忠弘

1. はじめに

平成7年1月に発生した兵庫県南部地震により、鉄道構造物においては支承部が集中的に破損し、また橋桁の一部が落下するなどの被災事例が報告された¹⁾。

これを受けて平成7年7月に運輸省は、既設鉄道構造物における耐震対策の1つとして落橋防止対策の実施を通達し、平成8年3月には「支承部の耐震補強設計の手引き」²⁾が発行され、鉄道橋について支承部は原則として中小規模の地震動に対しては損傷を許容しないが、大規模地震動に対しては損傷を許容するものとし、落橋防止装置を設置することにより対応することが規定されている。そして、現在これに基づいた落橋防止対策が各鉄道事業者で実施されている。

しかしながら鉄道構造物においては、架設地の周辺環境及び道路交通法と関連して桁座幅が困難である箇所など、上記手引きに準じた耐震補強工事の施工がその設置環境の問題から数多く残されているのではないかと考えられる。

そこで著者らは、鉄道構造物における落橋防止装置について構造及び機能を検討した結果、設置環境を考慮したダウンサイジング化構造を基本構造とし、鉄道構造物の橋桁には軌道が敷設されていることから、中小規模地震においては橋桁の移動にともなう軌道の狂いを剛性体により抑制し、大規模地震に対しては弾性体の変形及び破壊により衝撃エネルギーを吸収する高耐力型複合構造体である図-1に示す新形式落橋防止装置（以下、2段階バネ緩衝材と称す）を考案した。

この2段階バネ緩衝材は、すでに著者らによって静的実験が実施され、その圧縮特性などはすでに確認されている³⁾。

ここでは、2段階バネ緩衝材についてJR京都線太田川橋りょうにおける試験施工にあたり実施した動的解析法を用いた設計検討及び施工結果について報告する。

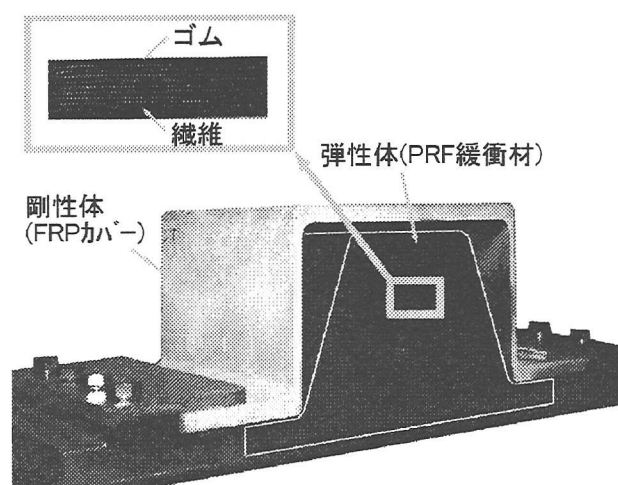


図-1 2段階バネ緩衝材形状図

キーワード：鉄道構造物、耐震補強、2段階バネ特性、自己破壊、緩衝効果

連絡先：〒674-0082 明石市魚住町中尾 1058 TEL.078-946-1515 FAX.078-946-0528

2. 設計検討

2.1 2段階バネ緩衝材の圧縮特性

2段階バネ緩衝材は、図-2に示すように剛性体であるFRPカバー及び弾性体であるPRF (Poly Rubber Fiber) 緩衝材の複合構造である。

動的解析を行うにあたり、2段階バネ緩衝材の圧縮特性を確認するためにその形状を150H × 200Lとして実施した静的載荷試験結果を図-3に示す。

2段階バネ緩衝材は、図-3に示すように剛性体であるFRPの効果により変形量が0～7mmの区間については荷重が急激に立ち上がり、変形量が7mmにおいて剛性体が破壊し、変位量7mm以降については剛性体の破壊にともない弾性体に荷重が作用し、弾性体が圧縮変形することにより変形量が大きくなり、また弾性体に埋設された繊維が逐次破断することにより荷重の増加を抑制していることも分かる。

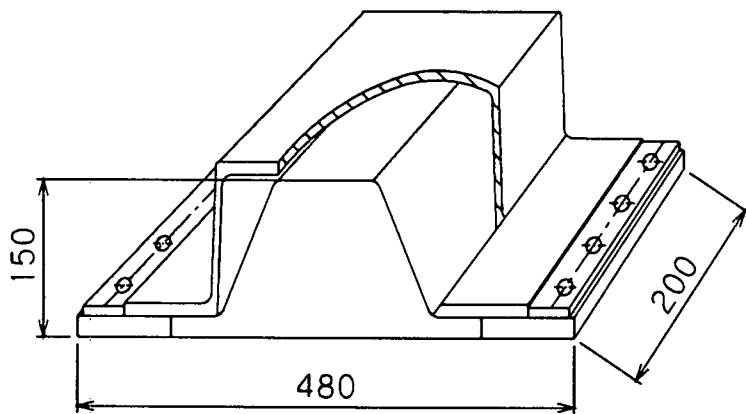


図-2 2段階バネ緩衝材模式図

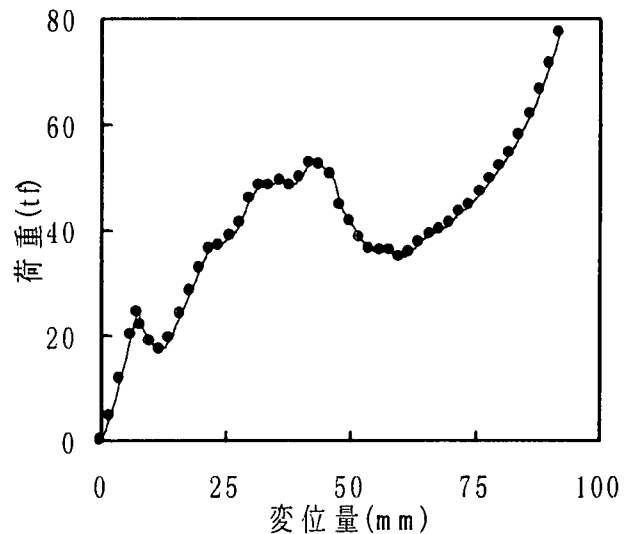


図-3 2段階バネ緩衝材の圧縮特性

2.2 動的非線形解析

2.2.1 解析条件

解析は、試験施工を実施する太田川橋りょうを対象として、P1橋脚における橋軸直角方向について時刻歴動的な非線形解析を実施した。

構造物のモデル化については、1) 橋脚の非線形性及び落橋防止装置の履歴特性、2) 地震応答解析を行う際の橋脚、上部構造、基礎、支承条件などの相互作用を考慮する必要があると考えられ、図-4にP1橋脚の適用モデルを示す。

RC橋脚のモデル化は、曲げモーメント-曲率関係におけるひび割れ時-降伏時-最大時を結ぶトリリニアモデルを骨格曲線とし、履歴特性を武田モデルとする非線形性を設定し、減衰定数は0.05とした。そして地盤バネのケーソン基礎への影響は、水平及び回転の2方向のバネ特性を考慮することにより弾性的な挙動を示すものとし、鉛直方向については固定と仮定した。

図-5に固定支承の物性モデルを示す。解析においては、材料非線形を考慮した骨組構造解析プログラムを使用し、時間積分法はニューマークβ法 ($\beta = 1/4$) を使用した。積分間隔は0.001secとし、入力地震波は地盤区分よりL2地震動のG4波 (スペクトルII適合波) を使用した。

本検討においては、解析条件を鋼製の反力壁とした移動制限用反力壁の場合及び図-3に示す緩衝材の圧縮特性を直線回帰によりモデル化した図-6に示す圧縮特性を有する緩衝材を反力壁に設置した構造である落橋防止装置の場合の2種類で実施し、それぞれを橋軸直角方向に1支点あたり4基設置するものとして比較検討を行った。

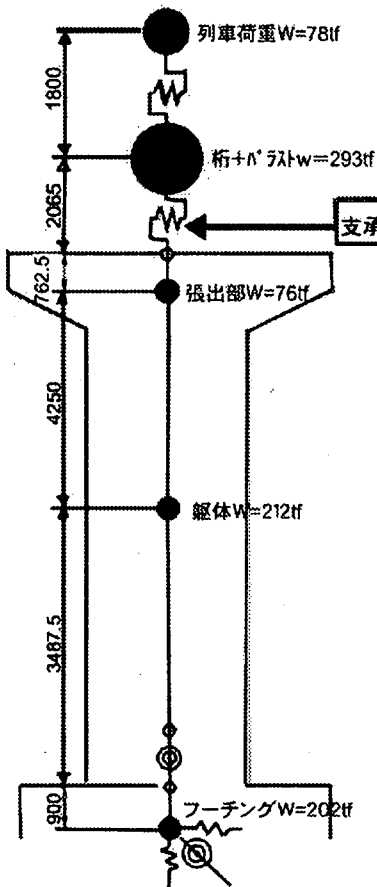
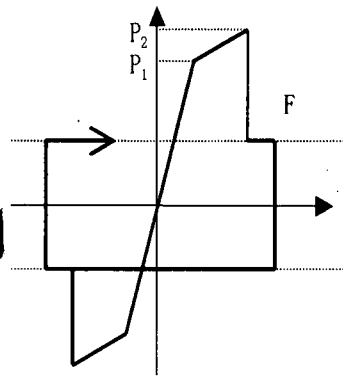
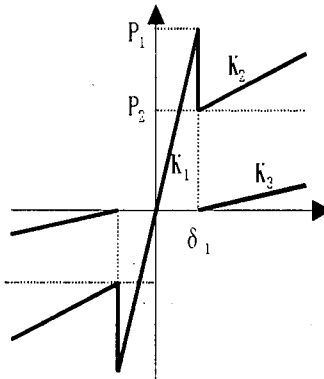


図-4 P1橋脚モデル図



$P_1 = 35.91\text{tf}$
 $\delta_1 = 2.1 \times 10^{-4}\text{m}$
 $K_1 = 1.71 \times 10^5\text{tf/m}$
 $P_2 = 38.61\text{tf}$
 $\delta_2 = 3.6 \times 10^{-4}\text{m}$
 $K_2 = 1.80 \times 10^4\text{tf/m}$
 摩擦力 F (摩擦係数 0.60)
 $F = \mu N = 0.60 \times (371/8 \text{ 基})$
 $= 0.60 \times 46.38 = 27.82\text{tf}$

図-5 固定支承物性モデル



$P_1 = 40\text{tf}$
 $\delta_1 = 5.0 \times 10^{-4}\text{m}$
 $K_1 = 8000\text{tf/m}$
 $P_2 = 20\text{tf}$
 $K_2 = 1200\text{tf/m}$
 $K_3 = 200\text{tf/m}$

図-6 2段階バネ緩衝材物性モデル

2.2.2 解析結果

図-7にP1橋脚部における落橋防止装置1箇所あたりの水平力-水平変位の関係を示す。

図-7に示すように、移動制限用反力壁は140tf程度の水平力が発生しているのに対して、緩衝材を設けた落橋防止装置の発生水平力は90tf程度となり、緩衝材を使用することにより水平力が約60%に低減されることが分かる。

図-8にP1橋脚基部における曲げモーメント-回転角の関係を示す。

図-8に示すように移動制限用反力壁と比較して落橋防止装置は、橋脚基部の回転角が20%程度小さくなることになり、緩衝材を設けた落橋防止装置を設置することにより橋脚基部における塑性化を低減できることが分かる。

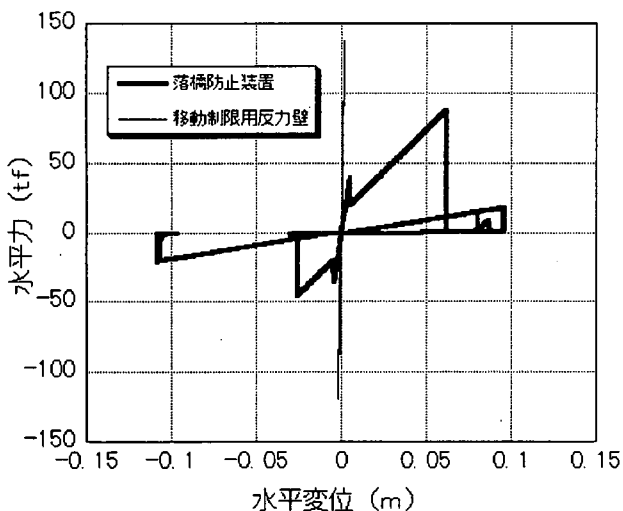


図-7 水平力-水平変位関係

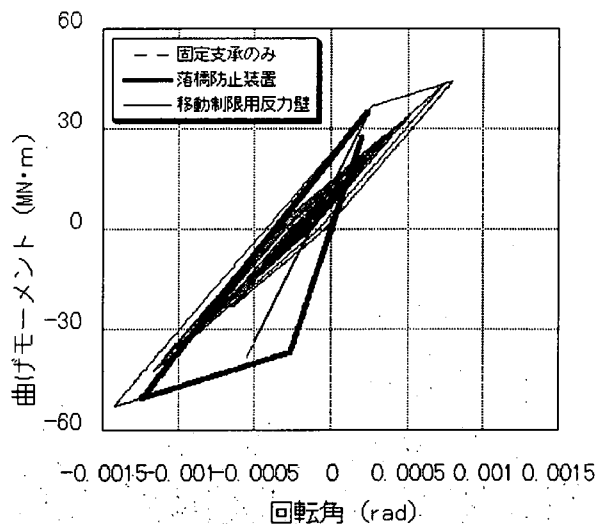


図-8 橋脚基部の曲げモーメント-回転角関係

3 試験施工

3.1 施工概要

本試験施工は、図-9に示すJR京都線太田川橋りょう（摂津富田駅-茨木駅間）において2段階バネ緩衝材を橋軸直角方向用の落橋防止装置として設置する耐震補強工事として実施された。

本試験施工において2段階バネ緩衝材は、主桁間に遮音壁などの添加物が設けられており橋脚天端上での設置が困難であると判断されたが、図-10に示すように橋脚前面及び主桁下フランジに反力壁である鋼製ブラケットを設置し、鋼製ブラケットの前面に本緩衝材を取り付ける方法で実施された。よって、本試験施工における鋼製ブラケット及び取付ボルト類は、図-7に示すように緩衝材を設置することによる緩衝効果を考慮し、設計荷重を90tfとして設計作業を実施した。

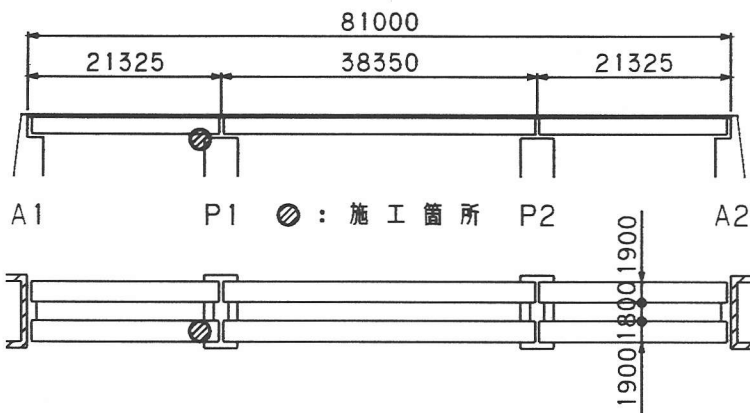


図-9 太田川橋りょう概図

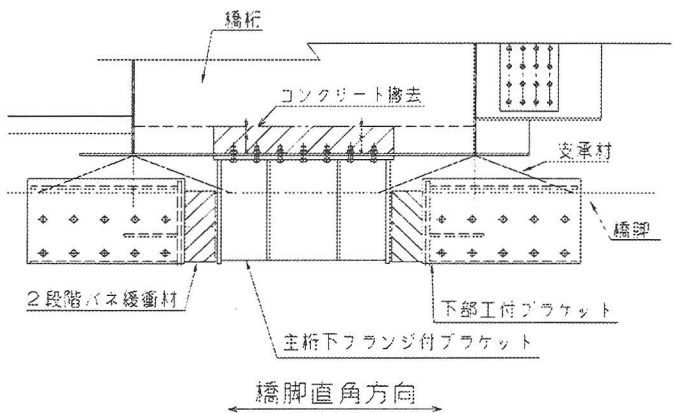


図-10 設置状況概図

3.2 施工

3.2.1 施工順序

本試験施工の施工順序を図-11に、状況写真を写真-1～6に示す。

3.2.2 アンカー工

本試験施工は、施工工期が4日間と限られた中での施工であったため、施工時間の短縮を目的としてアンカーボルトはケミカルアンカーを使用するものとし、金属探査及び橋脚前面の溝ハツリにより鉄筋の位置を確認することで、鉄筋を避けた位置にアンカーボルトを打設するものとした。

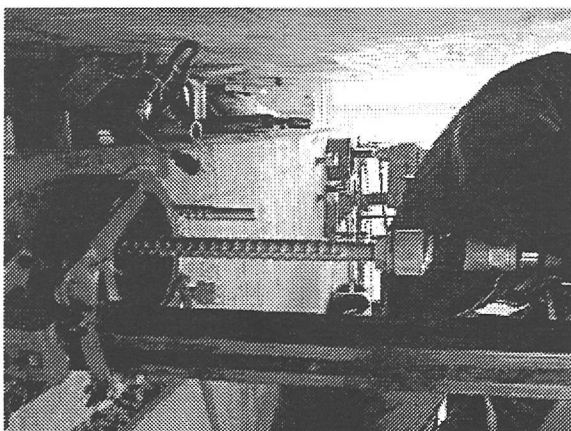


写真-1 アンカーボルト打設状況

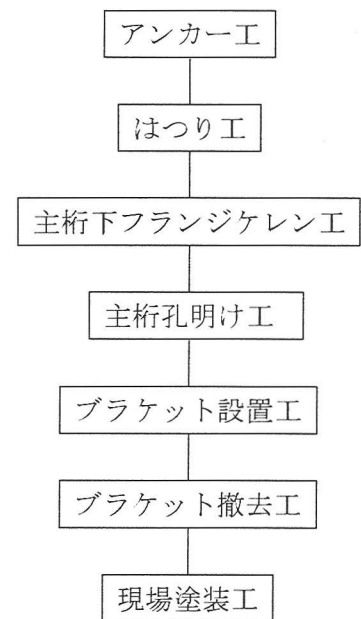


図-11 施工手順

3.2.3 はつり工

主桁下フランジに高力ボルトを用いて鋼製ブラケットを設置するにあたり、列車走行時の防音効果を向上させるために敷設されているコンクリート床版を写真-2に示すように事前に一部撤去する必要がある。

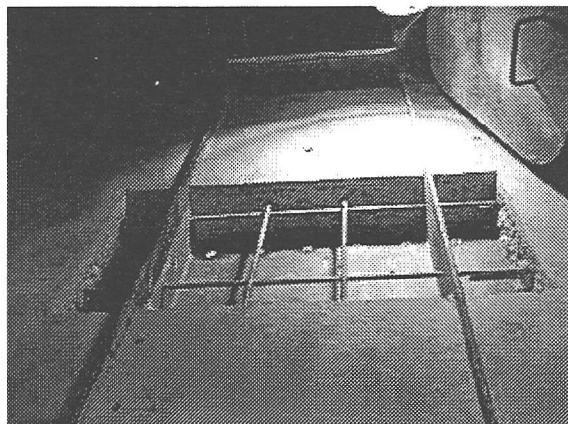


写真-2 主桁内部のコンクリートハツリ状況

3.2.4 ブラケット設置工

3.2.2 のアンカーボルトの孔位置計測結果に基づき下部工側鋼製ブラケットを製作し、鋼製ブラケットの前面に緩衝材をボルトにて固定した。

鋼製ブラケットは、トラッククレーン及びチェーンブロックにて据え付けを実施した。

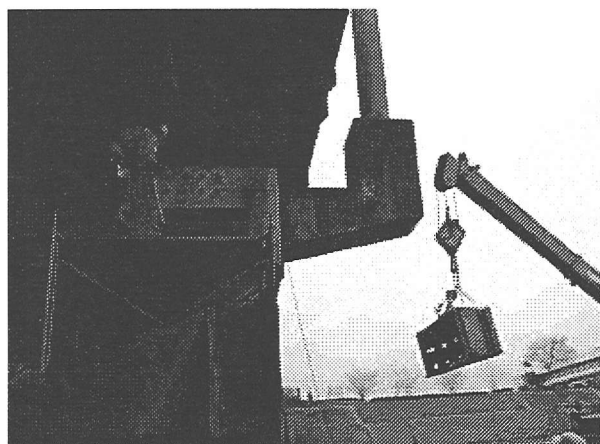


写真-3 取付ブラケット搬入状況

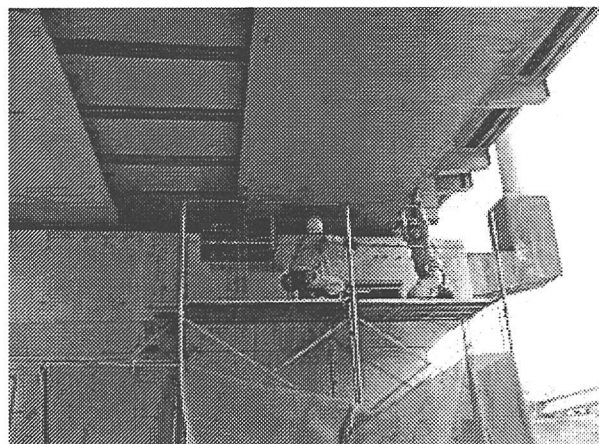


写真-4 取付ブラケット設置状況

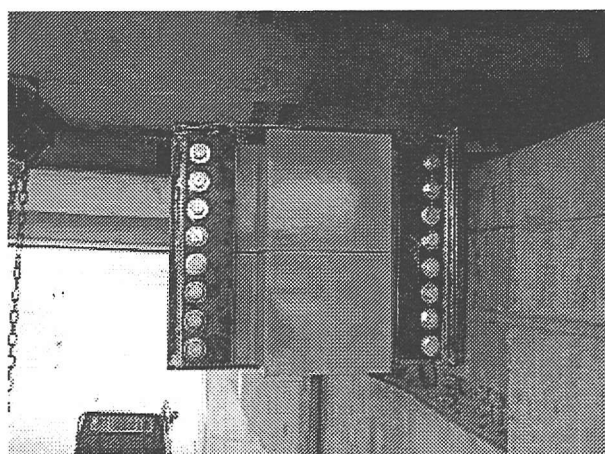


写真-5 2段階バネ緩衝材取付状況

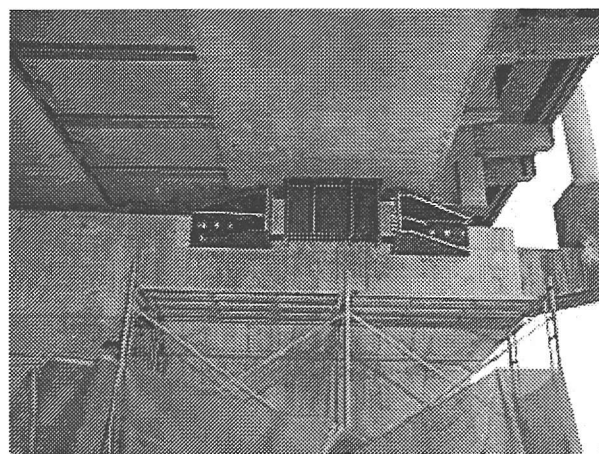


写真-6 施工完了

4. まとめ

太田川橋りょうを対象とした動的解析結果から、本緩衝材を落橋防止装置として使用すると、緩衝材の変形及び破壊によるエネルギー吸収性能により、桁と移動制限用反力壁の衝突力を緩和することが可能であり、

1) 落橋防止装置に作用する水平力は、約 60 %に低減する。

2) 橋脚基部における塑性化を約 20 %低減する。

ことが確認された。

また本試験施工においては、既設構造物における添加物の設置状況から、橋脚天端上での施工が困難であると判断されたが、緩衝材を付与することによる緩衝効果を設計に反映させたことにより取付金具類の形状がコンパクト化され、施工の実施に至ることが出来たが、今後は落橋防止装置の設置環境に応じた最適な設置方法の検討も課題であると考えられる。

5. おわりに

兵庫県南部地震以後、橋梁構造物の耐震補強対策として橋脚補強並びに落橋防止設置工などが実施されているが、本試験施工が同様の耐震補強工事の参考として活用されれば幸いである。

また本報告においては、緩衝材の静的圧縮特性を基に、動的解析を実施することで緩衝効果を把握したが、今後は緩衝材について衝撃実験を実施することで動的解析結果との整合性を確認する予定である。

最後に、本試験施工に関して設計及び施工方法について指導を頂いた西日本旅客鉄道株式会社鉄道本部施設部の方々、施工の管理について指導を頂いた西日本旅客鉄道株式会社鉄道京都支社の方々ほか、関係者各位に対し心より感謝の意を表します。

<参考文献>

1) 渡辺忠明, 市川篤司: 鉄道橋支承部の被災と耐震補強、橋梁と基礎, pp165-167, 1996.8

2) (財) 鉄道総合技術研究所: 支承部の耐震補強設計の手引き、平成 8 年 3 月

3) 浮島徹、村田清満ら: 2 段階バネ特性を活用した落橋防止壁用緩衝材の研究、「第 3 回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム」講演論文集, pp81-86, 1999.7