

既設在来線橋梁の免震化解析検討

新日鉄エンジニアリング(株) 正会員 西本 晃治 野呂 直以
 佐伯英一郎 山崎 伸介
 (株)ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 西村昭彦 長谷川淳史

1. はじめに 今後我が国においては、社会資本への投資余力の低下から、社会資本ストックの有効活用が必須の課題となる。特に、地震国である我が国では、高度経済成長時代に造られた橋梁をはじめ、土木構造物に対する延命化という点からも、その耐震性を向上し、来る地震に対する準備が重要となる。

本検討では以上のような背景のもと、在来線の既設橋梁(PC単純連続桁)を対象に、免制振デバイス(ゴム支承(以下RB)+免震U型ダンパー(以下NSUD))を適用した支承部の免震化による橋梁の安全性の向上、免震化に伴う走行車両の安全性に着目し、固有値解析、時刻歴応答解析を実施したので、その結果を報告する。

2. 対象橋梁とモデル化 対象橋梁は、支間長29.2m(橋長29.96m)のPC単純桁とした。また、下部工は、走行車両の安全性に悪影響を及ぼす条件を想定し、図-1の橋脚高さが7m(直接基礎)、10m(杭基礎)と異なる条件とした。また、既設橋梁に着目していることから、橋脚は耐震性能を満足しない橋脚を選定した。桁の質量はスラブ上面に配置し、列車の質量は桁の質点に含めた。橋脚く体は、 $M-\theta$ 関係²⁾を用いてモデル化し(図-2)、橋脚天端、中央、基部およびフーチング中心に質点を配置した。基礎は単独橋脚の静的非線形解析を実施し、杭基礎は基礎中心、直接基礎は基礎底面で得られた応答を用いて支持バネを作成し(図-3、4)、動的解析モデルに配置した。減衰定数は橋脚く体が2%、基礎は10%と設定した。解析は橋軸直角方向に着目した。

3. 検討ケース 検討ケースを表-1に示す。対象橋梁は、検討ケースは、Case1は既設橋梁を想定したケースで、支承部は、剛結とした。Case2は、RBのみでの免震化を想定し、RBの水平バネ(線形)を配置する。Case3は、RBとNSUDで免震化を図り、RBの線形バネに加えて図-5に示すNSUDのバイリニア型の水平バネを配置する。図-5はRB3個分とNSUD2個分の剛性を示す。減衰定数はゴム3%、U型ダンパーは0%と設定した。

4. 免震U型ダンパー 免震U型ダンパーの適用検討例には文献¹⁾などがある。免震U型ダンパーは品質の高い圧延鋼材を加工した新しい鋼製ダンパーで、地震時に安定した復元力特性を発揮し、温度や振動数の依存性が少ないことが特徴である。免震U型ダンパーの形状を図-6に示す。

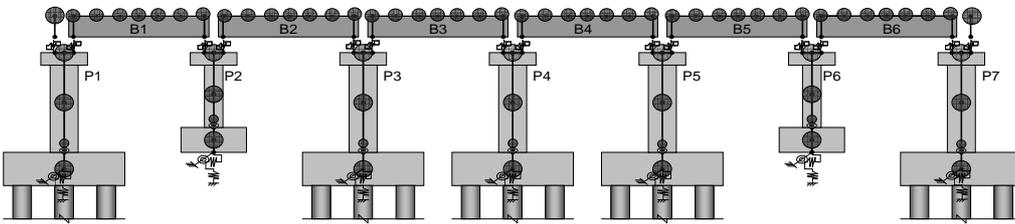


図-1 橋梁概略モデル図

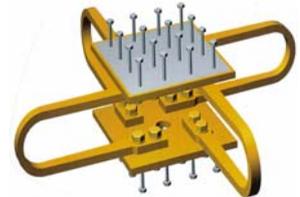


図-6 免震U型ダンパー

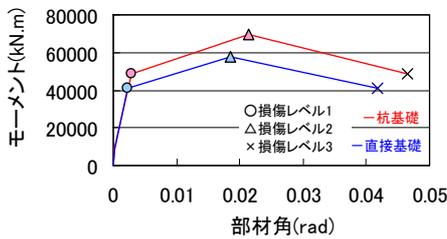


図-2 橋脚く体のM-θ関係

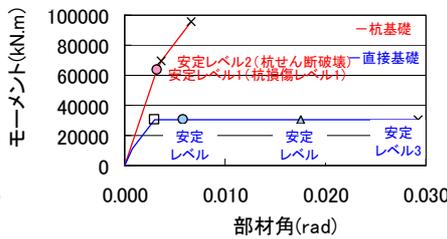


図-3 基礎のM-θ関係

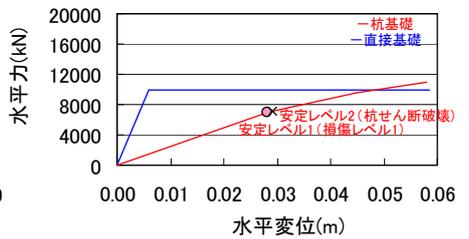


図-4 基礎のP-δ関係

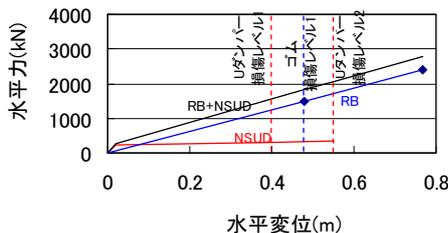


図-5 支承のP-δ関係

Case	支承条件	備考
Case1	K=∞	既設橋梁
Case2	ゴム支承	免震橋梁
Case3	ゴム支承+U型ダンパー	免震橋梁

キーワード：既設橋、免震化

連絡先：〒141-8604 東京都品川区大崎 5-1 新日鉄エンジニアリング(株) TEL：03-6665-4357

4. **設計地震動** 設計地震動は、鉄道設計基準³⁾のG3地盤用(普通地盤)の地表面設計地震動とし、L2地震動はスペクトルII設計適合波を用いた(最大値975gal)。また、走行安全性の確認は、L1地震動の地震波形を用いた(最大値188gal)。

5. **固有値解析結果** 固有値解析結果を表-2、既設橋梁のモード図を図-7、免震橋梁(Case3)のモード図を図-8に示す。既設橋梁の1次モードは橋脚の変形モードが出現し、固有周期は0.7秒となった。免震橋梁の1次モードは、Case2、Case3ともに支承の変形モードが出現し、Case2の固有周期は2.3秒、Case3はNSUDの初期剛性が付加され、1.2秒となった。また、免震橋梁は水平2次モードに橋脚基礎の水平変形のモードが出現し、固有周期は0.3秒程度となった。

6. **動的解析結果** 異なる諸元の橋脚の影響を最も受けるP3橋脚に着目して、免震化の効果を確認した。P3橋脚の橋脚く体の応答塑性率を図-9、基礎の応答塑性率を図-10に示す。橋脚く体の応答塑性率は、Case2で大きく低減されRBによる免震効果を確認できた。Case3では、さらに応答塑性率は低減し、NSUDの有効性も確認できた。基礎の応答塑性率は、回転変形については、Case2、Case3ともに低減された。しかし、水平変形については、Case2のほうがCase1の既設橋梁より大きく、支承の低剛性化による影響が若干みられ、耐震性能を満足しない結果となった。このことは固有値解析においても、水平2次モード(基礎の水平変形のモード)の刺激係数が高いことと合致する。しかし、Case3では、NSUDの効果により、水平2次モードの刺激係数も低下し、それに伴い水平変位の塑性率も低減し耐震性能を満足する結果となった。

L1地震時におけるP3橋脚上の目違いを図-11に示す。Case2(赤線)の目違い量は、共振して限界値(14mm)⁴⁾を大幅に超過したが、Case3(青線)の目違い量は走行安全性を満足する結果となった。

5. **まとめ** 耐震性能を満足しない既設鉄道橋梁を対象に免震支承を適用させて動的解析を実施し、橋梁の耐震性能および走行安全性の検討を行った。

①RBによる免震化は、基礎の水平変位が大きくなり、耐震性能を満足することができなかった。

②RBとNSUDを用いて免震化を図ることで、L2地震に対して橋脚は耐震性能を満足することができた。また、さらにL1地震時の走行安全性も確保することができた。

表-2 固有値解析結果

ケース	水平1次モード		水平2次モード	
	固有周期(s)	刺激係数	固有周期(s)	刺激係数
Case1	0.704	86.562	0.127	31.834
Case2	2.305	0.319	0.321	47.482
Case3	1.227	77.308	0.294	36.652

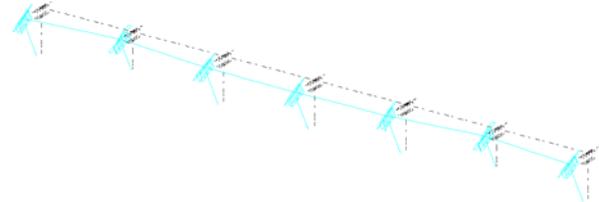


図-7 固有振動モード図 (既設橋梁) T=0.704 (s)

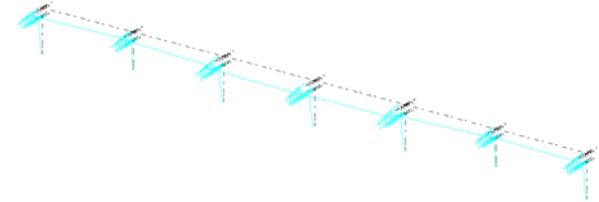


図-8(1) 水平1次固有振動モード図 (免震橋梁) T=1.227 (s)

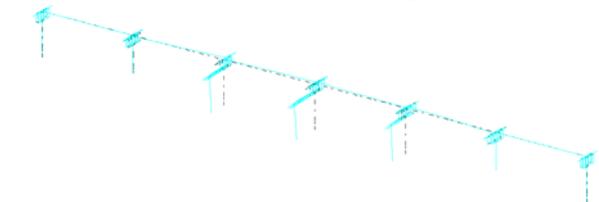


図-8(2) 水平2次固有振動モード図 (免震橋梁) T=0.294 (s)

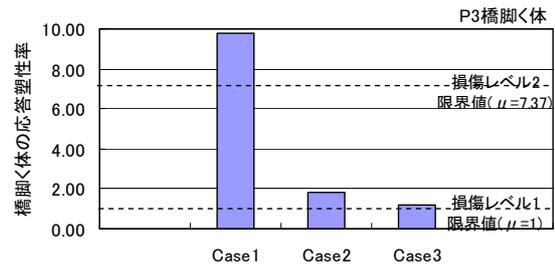


図-9 橋脚く体の応答塑性率 (P3橋脚)

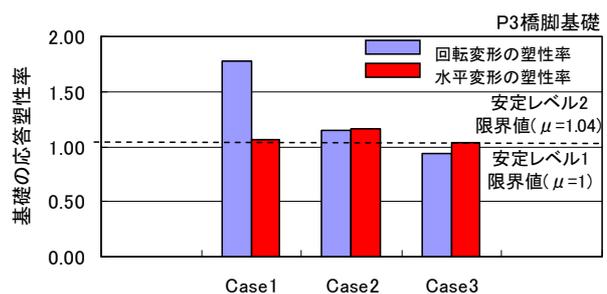


図-10 基礎の応答塑性率 (P3橋脚)

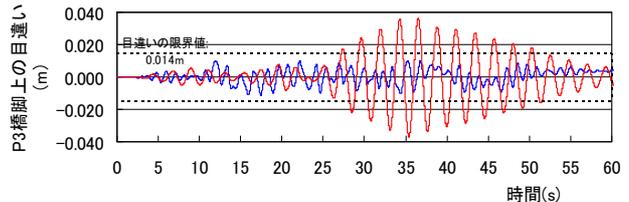


図-11 L1地震時の桁の目違い (P3橋脚上)

参考文献 1) 鋼製ダンパーを用いた連続高架橋の合理化に向けた一提案その2 第64回年次学術講演会
 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，平成16年4月
 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，平成11年10月
 4) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限，平成18年2月