

免震ゴム支承を用いた鉄道長大橋りょうの耐震補強に関する詳細解析

(公財) 鉄道総合技術研究所

正会員 ○古屋卓稔 豊岡亮洋 徳永宗正 岡本 大

四国旅客鉄道(株)

正会員

中田裕喜

宇野匡和

1. はじめに

本四備讃線の北浦港橋りょう(以下、北浦港B)は橋長450mの5径間連続PC箱桁を有する長大橋りょうであり、南海トラフ地震を想定した耐震補強が検討されている。北浦港Bの中間橋脚のうち、2P~4Pの橋脚が基礎に対して過大な損傷が発生する結果となった。また、これらの中間橋脚は海上部に建設されており、高さ50m以上の地中連続壁基礎を有している。そのため、補強設計および施工が困難であることが想定された。

そこで、海上部に建設された橋脚基礎の損傷を抑制可能な方法として、免震ゴム支承やすべり支承を用いることとした。しかし、免震ゴム支承やすべり支承を用いることで、橋脚と桁の位相差による隣接桁との衝突が懸念された。

以上を踏まえ、本検討では三次元フレームモデルを用いた時刻歴動的解析による耐震補強検討を実施した。

2. 検討概要

本検討で用いた免震ゴム支承やすべり支承および制震ダンパーに必要な性能は、ばね-質点系モデルの検討により決定した¹⁾。しかし、ばね-質点系モデルは概略検討の位置づけであるため、高次のモード等を見逃している。また、橋脚く体および基礎の損傷やせん断耐力などの照査も必要である。そのため、本検討では、選定された支承および橋りょうを詳細な構造モデルを用いて時刻歴動的解析を実施し、免震ゴム支承を用いた場合の北浦港Bの橋脚く体および基礎について耐震性能照査を行った。なお、解析検討および照査は、鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)(以下、耐震標準)²⁾に準拠して実施した。

解析は、図-1に示す三次元の非線形フレームでモデル化を行い、橋軸方向および橋軸直角方向への加振による時刻歴動的解析を行った。また、端部はすべり支承と摩擦ダンパーを設置し、中間部では免震ゴム支承を設置することとした。なお、それぞれの諸元は参考文献1)のCASE4により決定した。

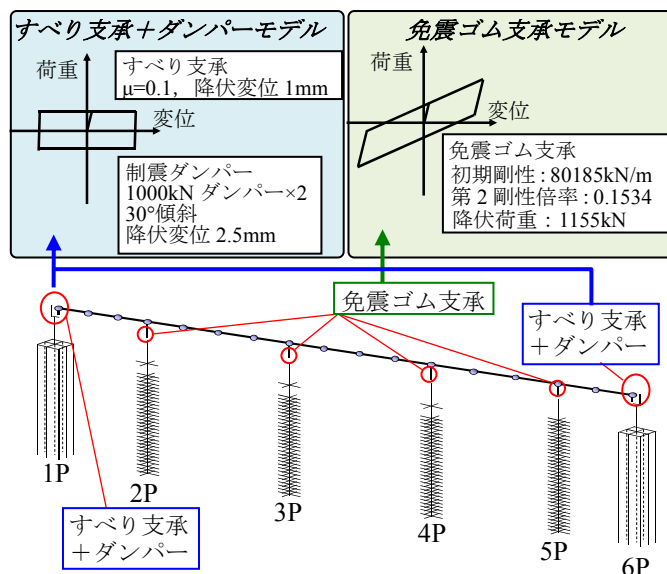


図-1 解析モデル

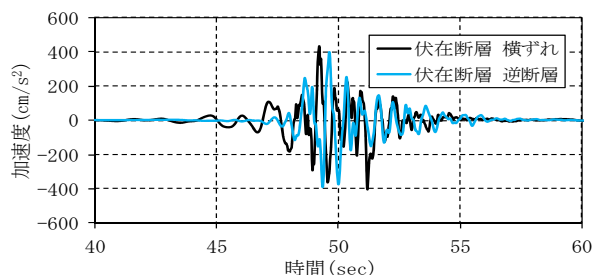


図-2 入力地震動

モデル化では、桁、く体、基礎を一体とした。橋脚く体はM-θ要素、基礎はM-φ要素とし、それぞれの要素に対し、材端に配置した回転ばねによりモデル化した。また、地盤については地盤ばねによりモデル化を行った。桁は剛体要素とした。なお、各要素の非線形特性は耐震標準により与えた。桁と橋脚間の支承モデルは、図-1に示すとおり、端部橋脚ではすべり支承とダンパーの併用、中間部橋脚では免震ゴム支承とし、バイリニアのばねとしてモデル化を行った。

また、本検討では要素別レーリー減衰を使用し、免震ばね支承などの影響を受けないように留意して α 、 β を決定した²⁾。なお、減衰定数は地盤15%、桁5%、橋脚3%とし、固有値解析の結果から質量マトリクスに対して $\alpha=0.08$ 、剛性マトリクスに対して $\beta=0.02$ とした。

キーワード 長大橋りょう, 免震ゴム支承, 耐震補強, 時刻歴動的解析

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 TEL042-573-7281

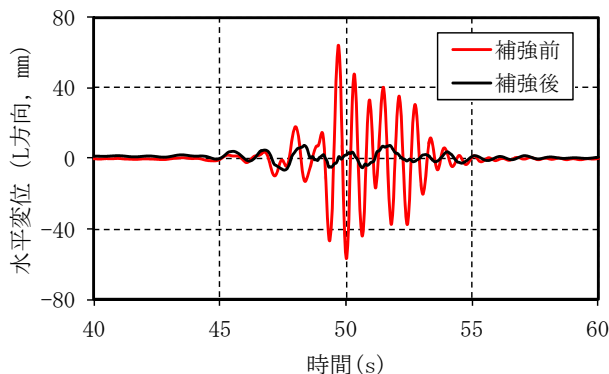


図-3 4P 天端時刻歴変位 (橋軸方向)

荷重および質量は固定死荷重、付加死荷重、列車荷重を考慮し、付近の各節点に対して実際通りに配置した。なお、列車による慣性力は、橋軸方向に対して 200gal、橋軸直角方向に対して 300gal の応答加速度に対応する初期水平荷重として与えた²⁾。本検討で用いた入力地震動を図-2に示す。これは、想定した地震に対し、地盤の応答解析により作成した所要降伏震度スペクトルの適合波である。

3. 検討結果

図-3 に、橋軸方向加振時の 4P 橋脚天端の時刻歴応答変位結果を示す。図-3 より、免震ゴム支承を用いることで応答が大きく低減する結果が得られた。なお、補強前では最大で 74mm の変形であり、補強後では最大で 7mm まで応答が低減された。また、基礎に対しても応答が低減する結果が得られた。なお、直角方向も応答が低減される結果となった。

表-1 に、く体および基礎に対する照査結果を示す。ここでは、耐震標準に示される変形およびせん断力に関する安全性の照査結果を示す。なお、() は図-4 に示す部材の損傷レベルを示しており、表中の変形の値は各損傷レベルの制限値に対する照査値である。表-1 より、中間橋脚である 2P~5P 橋脚の基礎で損傷レベル 4 を超える変形が発生していたのに対し、免震ゴム支承を用いることで損傷レベル 1 (無降伏) となる結果となった。また、せん断力に対しても、応答の低減により照査を満足し、せん断破壊しない結果となった。

また、端部橋脚に対しても同様に照査値が大きく低減する結果となったが、1P 橋脚の橋軸直角方向のせん断耐力に対しては照査値を満足しない結果となった。そのため、1P 橋脚に対する巻き立て補強などにより、せん断耐力を向上させる必要がある。しかしながら、免震ゴム支承を用いることで、橋脚への補強を大幅に

表-1 照査結果

			橋軸方向		橋軸直角方向	
			変形性能	せん断破壊	変形性能	せん断破壊
1P	く体	補強前	0.31 (損傷2)	0.85	0.24 (損傷2)	2.04
		補強後	0.60 (損傷1)	0.54	0.49 (損傷1)	1.83
	基礎	補強前	0.07 (損傷1)	1.13	0.24 (損傷1)	1.08
		補強後	0.05 (損傷1)	0.63	0.06 (損傷1)	0.71
2P ~ 5P	く体	補強前	0.44 (損傷2)	0.96	0.42 (損傷2)	1.23
		補強後	0.64 (損傷1)	0.20	0.09 (損傷1)	0.36
	基礎	補強前	6.25 (損傷4)	1.51	5.54 (損傷4)	1.03
		補強後	0.05 (損傷1)	0.26	0.04 (損傷1)	0.23
6P	く体	補強前	0.46 (損傷2)	0.38	0.14 (損傷2)	0.68
		補強後	0.99 (損傷1)	0.58	0.55 (損傷1)	0.41
	基礎	補強前	0.02 (損傷1)	0.77	0.08 (損傷1)	1.91
		補強後	0.06 (損傷1)	0.12	0.12 (損傷1)	0.38

荷重

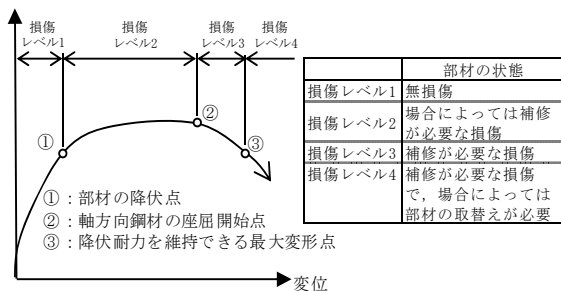


図-4 部材の損傷レベル

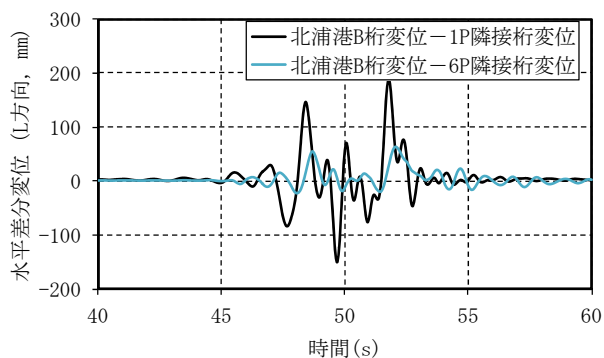


図-5 隣接桁変位差分結果

減らすことが可能となった。

図-5 に、北浦港 B の桁と隣接桁の変位差分結果を示す。現況遊間は 1P で 310mm、6P で 105mm であり、図-5 の結果より、地震時に桁衝突が生じないことがわかった。

4. まとめ

免震ゴム支承と橋りょう全体系をモデル化した時刻歴動的解析を実施し、海上部の応答が低減されたことにより照査を満足する結果となった。また、懸念された桁の衝突も発生しない結果となった。

参考文献

- 1) 中田ら：鉄道長大橋りょうの免震ゴム支承への置き換えに関する諸元選定解析, 土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集, 2016
- 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説ー耐震設計ー, 丸善, 2012