

鉄道鋼ラーメン高架橋における仮設時の耐震性能に関する一検討

(株) 復建エンジニアリング ○正会員 橋本 雅俊 (株) 復建エンジニアリング 正会員 井口 光雄

1. はじめに

連続立体交差に伴う鉄道高架橋において、営業線近接施工工事等で、線路を切り換えながら狭い作業空間で工事を行うことが多くなり、仮設時に比較的不安定な構造形式が避けられない場合が発生する。今回の対象とする仮設時の構造形式の特徴としては、仮設の柱を外側に設置して、地中梁がない。設計は仮設時にL1地震動のみを満足するように、完成時にはL2地震動で耐震性能レベルを満足するように行っている。しかし、実際に仮設時状態で大規模地震が発生した場合、仮設時の構造形式で、どれだけの耐震性能レベルを満足しているのか、また今回対象としている仮設時構造形式の特徴を完成時モデルと仮設時モデルの応答値を比較しながら把握し、検討を行った。

2. 解析対象構造物

解析対象の3次元モデルを図1・2に示す。図1の仮設時構造物は橋軸方向に1径間、直角方向に3径間を有する2層鋼ラーメン高架橋である。ここで、それぞれの通りを橋軸方向がL1, L2, L3, Kとし、橋軸直角方向がC1, C2とする。構造物の概略は、地中梁及び杭はRC構造、それ以外は鋼構造で、上層・中層梁、及び上層・下層柱は箱断面で構成されている。図2の完成時構造物は図1の仮設時モデルからK通りを撤去し、L3通りに下層柱と杭を設置し、地中梁をつないだ構造となる。解析はモデル図の骨組みモデルを使用し、地盤はバネで考え、鉛直部材に非線形性及び軸力変動を考慮した。対象とした地盤の地盤種別はG4地盤¹⁾と想定し、解析に使用する地震波形は図3に示すL2地震スペクトルII(最大加速度700gal)としている。今回対象としたモデルは、仮設時ではL1地震動で設計し、完成時ではL2地震動で耐震性能IIを満足するよう設計を行っている。耐震性能レベル評価・部材の損傷レベル評価・ラーメン高架橋の耐震性能と部材の損傷レベル及び基礎の安定レベルの制限値の目安は、表1及び表2に示す。

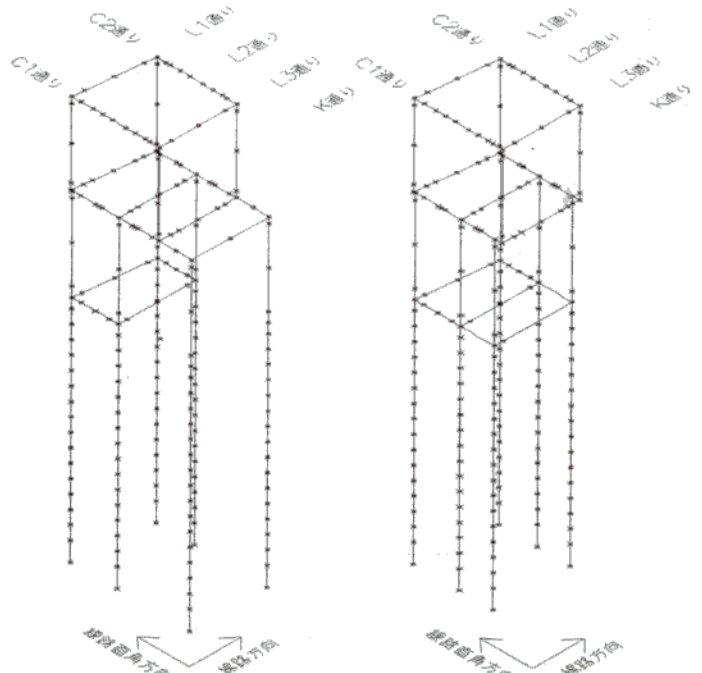


図1 仮設時解析モデル

図2 完成時解析モデル

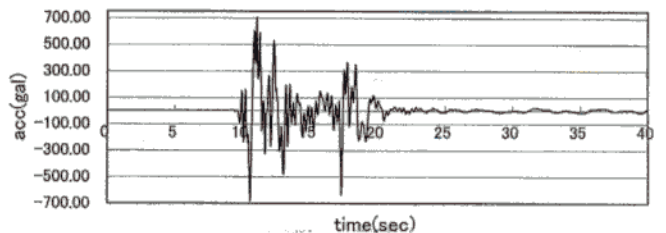


図3 入力地震波形

構造物の耐震性能	
耐震性能Ⅰ	:地震後にも補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない。
耐震性能Ⅱ	:地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できる。
耐震性能Ⅲ	:地震によって構造物全体系が崩壊しない。

表1 構造物の耐震性能²⁾

部材の損傷	
損傷レベル1	:無損傷
損傷レベル2	:場合によっては補修が必要な損傷
損傷レベル3	:補修が必要な損傷
損傷レベル4	:補修が必要で、場合によっては部材の取替えが必要な損傷

ラーメン高架橋の耐震性能と部材の損傷レベル及び基礎の安定レベルの制限値の目安				
構造物		耐震性能Ⅰ	耐震性能Ⅱ	耐震性能Ⅲ
部材の損傷レベル	上層梁・地中梁	1	2	3
	その他の梁	1	3	4
	柱	1	3	3
基礎の安定レベル		1	2	3

表2 部材の損傷・ラーメン高架橋の耐震性能と部材の損傷レベル及び基礎の安定レベルの制限値の目安³⁾

キーワード：耐震設計、鉄道鋼ラーメン高架橋、時刻歴応答解析

連絡先：東京都中央区日本橋堀留町1-11-12 TK堀留ビル (株)復建エンジニアリング第2技術部 Tel.03-5652-8563 Fax.03-3660-9374

3. 時刻歴応答解析による仮設時モデルの応答

時刻歴応答解析により仮設時モデルの応答値を算出し、それらを照査した。この構造物の固有値解析結果として固有周期は1.051(sec)であった。上層梁・中層梁・地中梁・上層柱・下層柱・杭の部材損傷レベルを線路軸方向と線路直角方向とをそれぞれ表3に示す。まず、柱に着目して上層柱では損傷レベル4がL3通りC2柱下端の1箇所、下層柱ではほとんど全て損傷レベル4となっている。特に軸方向においては、L1通り側の下層柱、直角方向においてはC2通りのL1, L2通り側の下層柱に応力集中しているのがわかる。今回の特徴であるK通りの下層柱に関しては、柱上端が軸方向・直角方向ともに損傷レベル4であるのに対し、柱下端では損傷レベル1である。地中梁はL方向・C方向それぞれ損傷レベル2が多いが、C1通りのL1-L2部材で損傷レベル3となっている。上層梁・中層梁においては思いのほか大きな応力が発生している箇所がないことがわかる。杭ではK通りの杭が損傷レベル2で、その他の杭が損傷レベル1だが、K通りの杭において最大応答値が得られたのは杭頭から5m付近となった。その他の杭は杭頭で最大応答値が得られた。基礎の安定レベルは2であり、構造物天端での最大変位は54cm、最大加速度は1020galであった。これらより表2から判断して耐震性能Ⅲをも満足していない。今回対象の構造形式では地中梁でつないでいる下層柱に応力が集中していることを考慮すると、地中梁の有無により、荷重がL1・L2通り側とK通り側とではバランスよく分担されていないようである。同様に杭の最大応答発生位置が異なることや、K通りの柱下端が損傷レベル1であるのもそれらの影響であり、今回の構造形式の特徴であると考えられる。

		損傷レベル			損傷レベル		
		軸方向	直角方向				
上層柱	L1	C1上	2	2	L1-C1C2 3F	2	
		C1下	2	1	L3-C1C2 3F	2	
		C2上	2	2	C1-L1L2 3F	1	
	L3	C2下	2	1	C2-L1L2 3F	1	
		C1上	2	2	L1-C1C2 2F	2	
		C1下	2	3	L2-C1C2 2F	1	
下層柱	L1	C2上	2	2	L3-C1C2 2F	1	
		C2下	2	4	K-C1C2 2F	1	
		C1上	4	2	C1-L1L2 2F	2	
	L2	C1下	4	2	C1-L2L3 2F	2	
		C2上	4	4	C1-L3K 2F	1	
		C2下	4	4	C2-L1L2 2F	2	
	K	C1上	3	3	C2-L2L3 2F	2	
		C1下	4	2	C2-L3K 2F	2	
		C2上	3	4	L1-C1C2	2	
	杭	L1	C2下	3	3	L2-C1C2	2
			C1上	4	4	C1-L1L2	3
			C1下	1	1	C2-L1L2	2
L2		C2上	4	4			
		C2下	1	1			
		C1上	1	1			
杭	L1	L1-C1	1	1			
		L2-C1	2	1			
		K-C1	2	2			
	L2	L1-C2	1	1			
		L2-C2	1	1			
		K-C2	2	2			

表3 部材の損傷レベル

表3より、上層柱ではL3通りC2柱下端の1箇所、下層柱ではほとんど全て損傷レベル4となっている。特に軸方向においては、L1通り側の下層柱、直角方向においてはC2通りのL1, L2通り側の下層柱に応力集中しているのがわかる。今回の特徴であるK通りの下層柱に関しては、柱上端が軸方向・直角方向ともに損傷レベル4であるのに対し、柱下端では損傷レベル1である。地中梁はL方向・C方向それぞれ損傷レベル2が多いが、C1通りのL1-L2部材で損傷レベル3となっている。上層梁・中層梁においては思いのほか大きな応力が発生している箇所がないことがわかる。杭ではK通りの杭が損傷レベル2で、その他の杭が損傷レベル1だが、K通りの杭において最大応答値が得られたのは杭頭から5m付近となった。その他の杭は杭頭で最大応答値が得られた。基礎の安定レベルは2であり、構造物天端での最大変位は54cm、最大加速度は1020galであった。これらより表2から判断して耐震性能Ⅲをも満足していない。今回対象の構造形式では地中梁でつないでいる下層柱に応力が集中していることを考慮すると、地中梁の有無により、荷重がL1・L2通り側とK通り側とではバランスよく分担されていないようである。同様に杭の最大応答発生位置が異なることや、K通りの柱下端が損傷レベル1であるのもそれらの影響であり、今回の構造形式の特徴であると考えられる。

4. 仮設時モデルと完成時モデルの応答比較

完成時モデルにおいても同様に時刻歴応答解析を行い、応答値を算出した。仮設時最大応答値/完成時最大応答値を表4に示す。上層柱・下層柱は？、杭はf、上層梁・下層梁・地中梁はMで比較している。上層柱では仮設時において完成時と比べ応答値が半分近く小さいのに対して、下層柱では倍近く応答値が発生している。杭においても仮設時の方が倍近く応答値が大きい。上層梁と下層梁はすべて仮設時に応答値が小さくなっており、地中梁は大きくなっている。完成時の構造物天端での最大変位は47cm、最大加速度は1260galであった。このように仮設時と完成時を比較しても仮設時ではL1, L2通り側の下層で応答値が大きく、応力が集中しているのがわかる。逆にK通りの柱が荷重を分担しておらず柱として機能していないことがわかる。

		仮/完			仮/完		
		軸方向	直角方向				
上層柱	L1	C1上	0.59	0.48	L1-C1C2 3F	0.61	
		C1下	0.59	0.26	L3-C1C2 3F	0.57	
		C2上	0.65	0.69	C1-L1L2 3F	0.56	
	L3	C2下	0.70	1.31	C2-L1L2 3F	0.70	
		C1上	0.31	0.64	L1-C1C2 2F	0.72	
		C1下	0.35	0.22	L2-C1C2 2F	0.55	
下層柱	L1	C2上	0.55	0.65	L3-C1C2 2F	0.34	
		C2下	0.59	1.39	C1-L1L2 2F	0.50	
		C1上	2.19	1.93	C1-L2L3 2F	0.71	
	L2	C1下	1.70	1.02	C2-L1L2 2F	0.55	
		C2上	2.04	2.17	C2-L2L3 2F	0.77	
		C2下	1.95	1.43	L1-C1C2	1.65	
	K	C1上	1.43	2.00	L2-C1C2	2.08	
		C1下	1.57	1.83	C1-L1L2	1.75	
		C2上	1.46	2.19	C2-L1L2	1.88	
	杭	L1	C2下	1.52	1.83		
			L1-C1	1.49	3.69		
			L2-C1	1.78	1.69		
L2		L1-C2	1.53	2.53			
		L2-C2	1.89	2.15			
		K-C2					

表4 仮設時最大応答値/完成時最大応答値

5. まとめ

これらの結果から、今回対象の仮設時の構造形式では、L2地震動に対して耐震性能Ⅲを満足できないことがわかった。構造形式の相違により応答値に大きな格差があったことを考慮すると、仮設時に対しても構造形式の違いがある場合、L2地震動の検討を別途行う必要があると考える。今後、異なる構造形式についても検討したい。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造設計編