

I-B197 鋼T型ラーメン橋の耐震設計法についての一考察

(株) 福山コンサルタント 正会員○牛島 宏

(株) 福山コンサルタント 正会員 金田孝治

1. はじめに

鋼製ラーメン橋の地震時の挙動については未解明な点が多く、その設計方法は確立していない。実際、道路橋示方書（以下道示）においてもこのような形式の橋梁はエネルギー一定則の適用性が限定され、動的解析結果に基づいて適切に耐震設計することが望ましい構造系に分類される。しかし具体的な設計方法の明示はない。

本稿で対象とした橋梁は、前述の構造形式に分類される鋼T型ラーメン橋である。図-1に示すように上部工形式は鋼2径間連続鋼床版箱桁で、橋軸方向に着目すると中間橋脚が上部工に剛結合された上・下部一体構造となっている。そこで、部材の非線形性（ $M-\phi$ ）を考慮した解析ならびにファイバー要素¹⁾による幾何学的非線形性・材料非線形性を考慮した解析をおこない、その耐震設計方法について考察した。

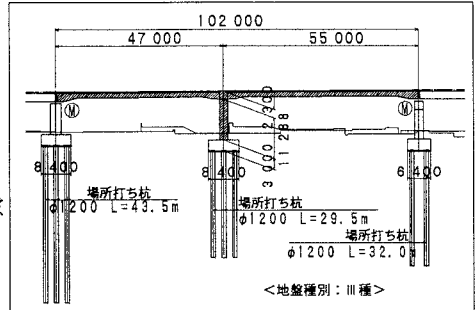


図-1 対象橋梁

2. 固有値解析結果

固有値解析をおこなうと表-1に示すように柱の水平1次モードの卓越は確認されたものの、高次モードの影響も無視することはできない。なお固有値解析モデルは部材の剛性に降伏剛性を用い、地盤の変形を考慮した。

表-1 固有値解析結果

モード次数	固有周期(sec)	刺激係数	有効質量比(%)
1	0.823	9.017	40.9
2	0.475	7.240	26.3
3	0.380	-3.771	7.1
4	0.163	2.261	2.6
5	0.128	-1.586	1.3

3. 部材非線形モデルによる静的・動的解析

部材の非線形性（ $M-\phi$ ）を考慮したモデルにより静的解析をおこなうにあたって、柱のコンクリート充填部については、道示に準拠し鉄筋コンクリート断面に換算してその骨格曲線を求めた。また、柱基部には最初に塑性ヒンジ領域が発生することを想定し、弾塑性回転バネを設けた。但しT型ラーメン橋の柱は、不静定といえども支承を有する単柱に近い変形性能を示すものと考えられるため、硬化型バイリニアモデルとした。コンクリート無充填部は、鋼断面の全塑性モーメントによる完全バイリニア型の骨格曲線を設定した。なお、初期断面寸法は震度法により決定した。以上より図-2に示す解析モデルを用い、荷重漸増法にて静的非線形解析をおこなった。

次に、非線形域での挙動の検証と高次モードによる影響を確認するために動的非線形解析をおこなった。解析モデルについては静的解析と同じものを使用し、地盤の変形と減衰（レーリー減衰）を考慮した。以上のモデルにおいて、

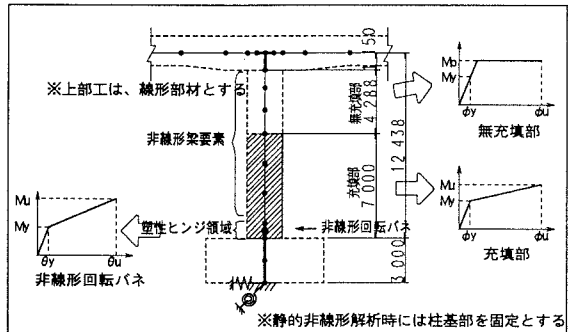


図-2 解析モデル図

キーワード：耐震設計法、鋼構造物、不静定構造物、非線形モデル

〒802-0062 北九州市小倉北区片野新町 1-11-4 本社事業部 設計部 TEL.093-931-0211 FAX.093-932-1338

タイプⅠ地震動として日本海中部地震・北海道東北沖地震、タイプⅡ地震動として兵庫県南部地震の地震波をそれぞれ3波形ずつ入力し、タイプごとにその平均値を動的解析の結果とした。

部材非線形モデルでの解析結果を表-2に示す。変位については若干の差異が見られたが柱基部の発生モーメントは静的解析と動的解析ではほぼ同じ結果となった。しかしながら無充填部の発生モーメントは動的解析が静的解析よりも大きく出る結果となった。これには高次モードの影響もさることながら、柱基部の拘束条件の違いによる影響が大きいものと考えられる。しかし無充填部の発生モーメントは初降伏モーメント以下であり、弾性範囲であることが確認された。この結果より震度法により決まった鋼断面は充填コンクリートの剛性を考慮していないために、大地震を想定した解析に対しても十分な耐震性を有していることがわかった。またコンクリート充填高さについては、動的解析の方が無充填部の発生モーメントが大きくなることより、動的解析により決定する必要がある。しかし梁下まで充填する場合においてはこの限りではなく、静的解析で十分であると考えられる。

表-2 部材非線形解析結果

		タイプⅠ		タイプⅡ	
		静的	動的	静的	動的
塑性率	最大応答相対変位 (cm)	4.126	3.708	5.326	6.113
	降伏変位 (cm)	5.330	5.330	5.330	5.330
	応答塑性率	0.774	0.696	0.999	1.147
	許容塑性率	1.486		1.805	
残留変位	残留変位 (cm)	0.160	0.000	1.095	0.645
	許容残留変位 (cm)	12.438		12.438	
曲げモーメント	最大曲げモーメント (tf·m)	4873.4	4699.5	6271.4	6341.0
	終局曲げモーメント (tf·m)	8584.0		8584.0	
等価水平震度	Khe	0.50	-	0.65	-
無充填部曲げモーメント	無充填部上側 (tf·m)	1450.6	2062.6	1907.4	2824.5
	初降伏モーメント (tf·m)	4757.1		4757.1	
	充填部直上 (tf·m)	531.1	1374.3	668.8	1798.0
	初降伏モーメント (tf·m)	4754.9		4754.9	

4. ファイバー要素モデルとの比較

次に、それぞれの材料ごとの特性を考慮したファイバー要素を用いて静的・動的解析をおこなった。また、この解析では座標系の移動による荷重増分（P-Δ効果）を考慮した。コンクリートおよび鋼部材の材料構成則については道示に準拠した。解析結果を表-3に示すが、静的解析では発生モーメントはほぼ同じで変位は小さい。これはP-Δ効果により降伏変位が小さくなったものであり、応答塑性率はほぼ等しい。また動的解析では、柱基部の発生モーメントは大きくなった。これもファイバー要素での解析の方がP-Δ効果により降伏変位が小さくなり、地震時の卓越振動数が高くなることによると考えられる。

表-3 ファイバー要素モデルとの比較

		タイプⅠ		タイプⅡ			
		静的		静的		動的	
		M-φ	Fiber	M-φ	Fiber	M-φ	Fiber
塑性率	最大応答相対変位 (cm)	4.126	3.570	5.326	4.591	6.113	5.642
	降伏変位 (cm)	5.330	4.850	5.330	4.850	5.330	4.850
	応答塑性率	0.774	0.736	0.999	0.947	1.147	1.163
	許容塑性率	1.486	1.640	1.805	2.408	1.805	2.408
残留変位	残留変位 (cm)	0.160	0.173	1.095	1.037	0.645	0.346
	許容残留変位 (cm)	12.438		12.438		12.438	
曲げモーメント	最大曲げモーメント (tf·m)	4873.4	4625.3	6271.4	5959.5	6341.0	7315.7
	終局曲げモーメント (tf·m)	8584.0	8909.1	8584.0	8909.1	8584.0	8909.1
等価水平震度	Khe	0.50	0.46	0.65	0.60	-	-

5. まとめ

本事例のような構造系の場合、解析結果より以下のことがいえる。

- (1) 震度法では充填コンクリートの剛性を考慮しないため、震度法で決めた鋼断面は静的非線形解析・動的非線形解析に対しても十分な耐力を有している。
- (2) コンクリート充填高さについては、動的解析の方が無充填部の発生モーメントが大きくなるため、動的解析により決定する必要があるが、梁下まで充填する場合においては静的非線形解析での照査で十分である。
- (3) 詳細に幾何学的非線形性・材料非線形性を考慮した解析をおこなわなくとも、部材非線形モデルでの解析ではほぼ同程度の解析結果が得られる。

<参考文献> 1) 柴田・渋谷・飯藤：“変動軸力を伴うRC柱のファイバーモデルによる地震応答解析”