

橋脚断面諸元および経済性に着目した複合ラーメン橋と免震橋の比較検討

(株) 富貴沢建設コンサルタンツ 正会員 ○ 桧山 光晴 (株) 長大 正会員 有井 賢次
(株) 総合技術コンサルタント 長瀬 嘉理 日本車輛製造(株) 林 栄人
佐藤鉄工(株) 林 宏充 宇都宮大学大学院 フェロー 中島 章典

1. はじめに

鋼上部構造と鉄筋コンクリート橋脚（以下、RC 橋脚と呼ぶ）を剛結した複合ラーメン橋は、免震支承を有する連続桁橋（以下、免震橋と呼ぶ）に比べ、高い耐震性と中間支点上の支承省略による維持管理の低減が期待できることから、近年採用例が増加している。しかし、RC 橋脚の諸元や橋梁の経済性に着目した場合、どちらの橋梁形式が有利であるかはあまり明確にされていない。そこで、同じ上部工諸元の複合ラーメン橋と免震橋を対象とし、地盤種別および橋脚高の違いによる、RC 橋脚の諸元および経済性に着目した両橋梁形式の優位性について比較検討を行った。

2. 設計モデル

検討橋梁モデル諸元および数値解析モデルを図-1 に示す。上部構造は3 径間連続非合成鋼鈑桁とし断面図を図-2 に示す。

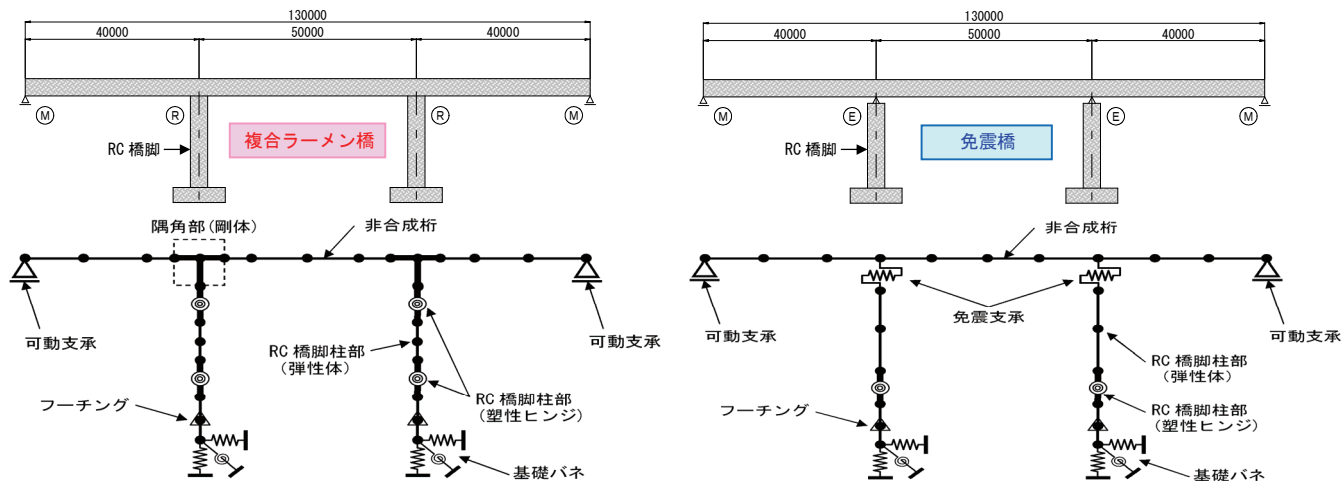


図-1 橋梁基本モデル図

3. 設計方法

複合ラーメン橋と免震橋のそれぞれにおいて表-1 に示す地盤種別および橋脚高さの組合せとし、橋脚基礎も含め性能照査（限界状態設計法）の考え方を取り入れて設計を行った。

(1) 上部構造の照査方法

塑性化は考慮せず弾性域の照査とする。本検討は RC 橋脚に着目した比較であるため、上部構造は便宜的な設計に留めどちらも共通の断面とする（温度による軸力は考慮するが剛結部の付加断面力は無視する）。

(2) 下部構造の照査方法

橋脚に対する照査方法は限界状態設計法（部分係数法）とし、コンクリート標準示方書【設計編】に基づき各照査式に対して各安全係数を考慮して照査を行う。ここで、一般的には橋軸方向の作用力が決定ケースとなることを勘案し、設計の便宜を考慮して橋軸直角方向の照査は省略するものとする。

①常時(温度時)の照査 ⇒ 使用性の照査として、静的解析により次の照査を行う。

・コンクリートおよび鉄筋の応力度 < 応力の制限値（コンクリート：0.4 f'ck、鉄筋：f_{yk}）

②レベル1地震動に対する耐震性能の照査 ⇒ 耐震性の照査（耐震性能1）として、静的解析により次の照査を行う。

・コンクリートおよび鉄筋の応力度 < 応力の制限値（コンクリート：f'ck、鉄筋：f_{yk}）

③レベル2地震動に対する耐震性能の照査 ⇒ 耐震性の照査（耐震性能2）として、動的解析により次の照査を行う。

・塑性ヒンジ部応答回転角 < 終局回転角 ・応答せん断力 < せん断耐力

ここに、f'ck：コンクリートの設計基準強度（＝24N/mm²）

f_{yk}：鉄筋の降伏強度（＝345N/mm²）

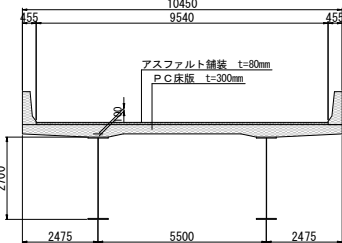


図-2 上部構造断面図

表-1 検討ケース

検討ケース	地盤種別	橋脚高(m)	基礎形式
Case I-1	I 種地盤	20	直接基礎
Case I-2		50	
Case II-1	II 種地盤	20	杭基礎(場所打ち杭φ1200mm)
Case II-2		50	
Case III-1	III 種地盤	20	杭基礎(場所打ち杭φ1200mm)
Case III-2		50	

キーワード 複合ラーメン橋、免震橋、RC 橋脚、地盤種別、限界状態設計法、非線形動的解析

連絡先 〒321-0934 栃木県宇都宮市築瀬 2-13-26 (株) 富貴沢建設コンサルタンツ TEL 028-635-3126

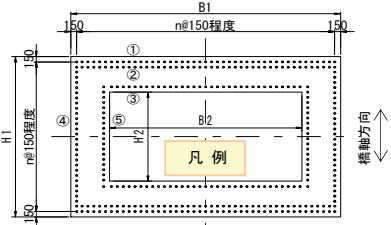
(3) 基礎構造の照査方法

地盤種別に応じてそれぞれ地盤条件を設定し、道路橋示方書に準じて基礎の安定計算を行い、基礎寸法および杭配置を決定する。ここで基礎形式については、Ⅰ種地盤は直接基礎、Ⅱ種およびⅢ種地盤は場所打ち杭基礎φ1200と設定する。

4. 設計結果

表-2 設計結果一覧表

橋 種			複合ラーメン橋						免 震 橋					
地盤種別			Ⅰ 種地盤		Ⅱ 種地盤		Ⅲ種地盤		Ⅰ 種地盤		Ⅱ 種地盤		Ⅲ種地盤	
橋脚高さ			H = 20 m	H = 50 m(中空)	H = 20 m	H = 50 m(中空)	H = 20 m	H = 50 m(中空)	H = 20 m	H = 50 m(中空)	H = 20 m	H = 50 m(中空)	H = 20 m	H = 50 m(中空)
橋脚断面寸法	高さ H1	m	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.5	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	5.0
	幅 B1	m	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
	内空高 H2	m	－	2.0	－	2.0	－	2.5	－	2.0	－	2.0	－	3.0
	内空幅 B2	m	－	5.0	－	5.0	－	5.0	－	5.0	－	5.0	－	5.0
主鉄筋配置 (片側)	①径-本数		D32 ー 45本	D38 ー 45本	D38 ー 45本	D41 ー 45本	D41 ー 45本	D51 ー 45本	D38 ー 45本	D51 ー 45本	D38 ー 45本	D51 ー 45本	D51 ー 45本	D51 ー 45本
	②径-本数		－	－	－	－	－	－	－	－	D38 ー 45本	－	D51 ー 45本	D51 ー 45本
	③径-本数		－	D38 ー 36本	－	D41 ー 36本	－	D51 ー 36本	－	D51 ー 36本	－	D51 ー 36本	－	D51 ー 36本
	④径-本数		D32 ー 10本	D38 ー 23本	D38 ー 10本	D41 ー 23本	D41 ー 10本	D51 ー 27本	D38 ー 10本	D51 ー 23本	D38 ー 8本	D51 ー 23本	D51 ー 8本	D51 ー 28本
	⑤径-本数		－	D38 ー 14本	－	D41 ー 14本	－	D51 ー 18本	－	D51 ー 14本	－	D51 ー 14本	－	D51 ー 21本
底板寸法[橋軸×直角×厚]		m	7.5x 9.0 x2.0	13.5x 13.5 x3.0	8.4x 11.4 x2.0	14.4x 17.4 x3.0	11.4x 11.4 x2.0	14.4x 17.4 x3.5	8.0x 9.0 x2.0	13.5x 15.0 x3.0	11.4x 11.4 x2.0	17.4x 17.4 x3.5	11.4x 14.4 x3.0	17.4x 17.4 x3.5
杭配置[橋軸×直角]		本	－	－	3 × 4	5 × 6	4 × 4	5 × 6	－	－	4 × 4	6 × 6	4 × 5	6 × 6
Lv1地震 固有周期		s	0.710	1.315	0.869	1.453	0.784	1.333	1.149	1.642	1.250	1.796	1.175	1.416
Lv1地震 設計水平震度			0.20	0.18	0.25	0.23	0.30	0.30	0.19	0.15	0.25	0.20	0.30	0.30
上部工応答変位		m	0.290	0.534	0.407	0.672	0.388	0.797	0.383	0.580	0.591	0.859	0.808	1.018
橋 脚 柱 断面照査	常時(温度時)基部応力度	σ _c	2.3 < 9.6	1.6 < 9.6	2.1 < 9.6	1.8 < 9.6	1.9 < 9.6	1.6 < 9.6	－	－	－	－	－	－
		σ _s	5 < 345	0 < 345	1 < 345	0 < 345	1 < 345	0 < 345	－	－	－	－	－	－
	Lv1 基部応力度	σ _c	10.6 < 24	10.6 < 24	10.5 < 24	12.4 < 24	13.3 < 24	11.3 < 24	10.8 < 24	9.8 < 24	13.7 < 24	13.7 < 24	11.8 < 24	11.2 < 24
		σ _s	341 < 345	316 < 345	308 < 345	326 < 345	341 < 345	308 < 345	318 < 345	238 < 345	325 < 345	291 < 345	287 < 345	335 < 345
	Lv2 基部塑性ヒンジ回転角		0.300 < 1.0	0.272 < 1.0	0.252 < 1.0	0.270 < 1.0	0.417 < 1.0	0.554 < 1.0	0.253 < 1.0	0.080 < 1.0	0.135 < 1.0	0.046 < 1.0	0.377 < 1.0	0.094 < 1.0
	決定ケース		Lv1基部応力度	Lv1基部応力度	Lv1基部応力度	Lv1基部応力度	Lv1基部応力度	Lv1基部応力度	Lv1基部応力度	Lv1基部応力度	Lv1基部応力度	Lv1基部応力度	Lv1基部応力度	Lv1基部応力度
基 礎 安定計算 (Lv1 地震時)	滑动安全率		3.70 > 1.2	4.29 > 1.2	－	－	－	－	3.41 > 1.2	4.50 > 1.2	－	－	－	－
	地盤反力度	kN/m ²	756 < 900	649 < 900	－	－	－	－	844 < 900	649 < 900	－	－	－	－
	鉛直支持力	kN	18014 < 39118	50006 < 51388	3661 < 4346	4200 < 4335	3549 < 5777	4817 < 6158	18316 < 34740	52405 < 53670	3251 < 4346	3959 < 4330	3566 < 5777	4880 < 6158



試設計の結果として、橋脚断面寸法、配筋、固有周期、応答変位等を表-2に示す。また、橋脚1基当たり(剛結部、支承含む)の概算工事費を算出し、地盤種別毎に経済性と橋脚高の関係をグラフにしたものを図-3に示す。

5. まとめ

同じ条件の「複合ラーメン橋」と「免震橋」を比べた場合、橋脚柱の断面寸法と鉄筋量は、全てのケースにおいて「複合ラーメン橋」の方が小さくなり、基礎形状や応答変位量についても同様の結果となった。

また、経済比較の結果、〔Ⅰ種地盤・H=20m〕のケースでは「免震橋」が若干優位になったが、それ以外の全てのケースで「複合ラーメン橋」が優位となる結果となった。さらに、その工費の差は、軟弱なⅢ種地盤に近づくほど顕著となり、同様に橋脚高が高い方が顕著となる傾向となった。つまり、下部構造全体の剛性に関連する地盤種別と橋脚高が、工費と高い相関関係にあることが確認できた。

今回は橋脚高のサンプルが少ないが、工費が図-3のグラフ通り比例関係にあると仮定するならば、Ⅰ種地盤ではH=20m程度、Ⅱ種地盤ではH=10m程度が経済性の境界となると考えられる。

今回の限界状態設計法を用いた試算では、橋脚断面の決定ケースは全てLv1地震時となった。その要因としては、当モデルの橋脚高がある程度高く温度の影響が小さかったこと、Lv2地震時の限界状態を終局限界に設定したことが考えられる。

謝辞

本検討は、鋼橋技術研究会にて行ったものであり、貴重なご助言を頂いた研究会各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) (社)土木学会：2007年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，2008.3
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅳ下部構造編，2002.3

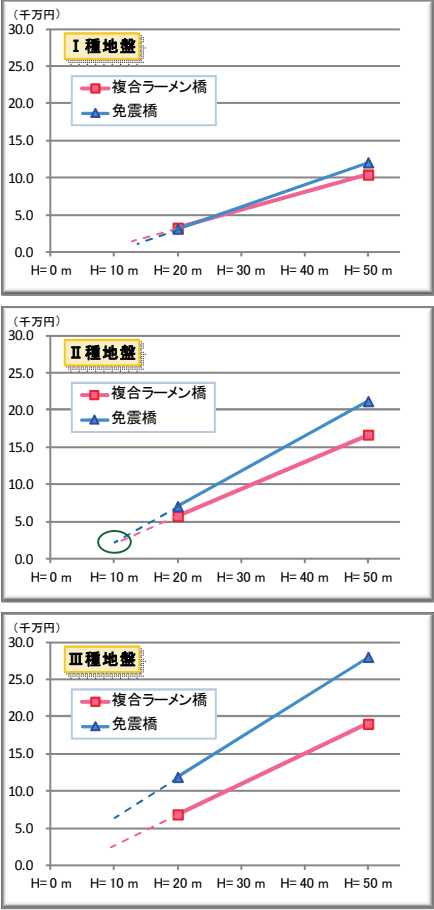


図-3 工費-橋脚高関係(橋脚1基当たり)