

PC有ヒンジラーメン橋の動的振動特性および耐震補強検討

(株)千代田コンサルタント 正会員○杉辰雄 非会員 勝谷康之 非会員 田中秀一

1. はじめに

昭和41年に竣工したPC有ヒンジラーメン橋(写真-1)に対して、今回実施した固有値解析結果と施工当時の動的振動特性(実験値、理論値)との比較を行った。また、道路橋示方書の要求性能であるレベル2地震動を作用させ、各部位に対する耐震性能照査を行った。上下部構造の各部位に対して耐震性能を満足しない場合は、その部位に対する耐震補強対策の検討を行った。今後の補修対策として橋梁の劣化状況、材料特性を把握するため詳細調査(変状調査、ひびわれ調査、塩分含有量、中性化深さ、一軸圧縮試験、静弾性係数等)を実施した。



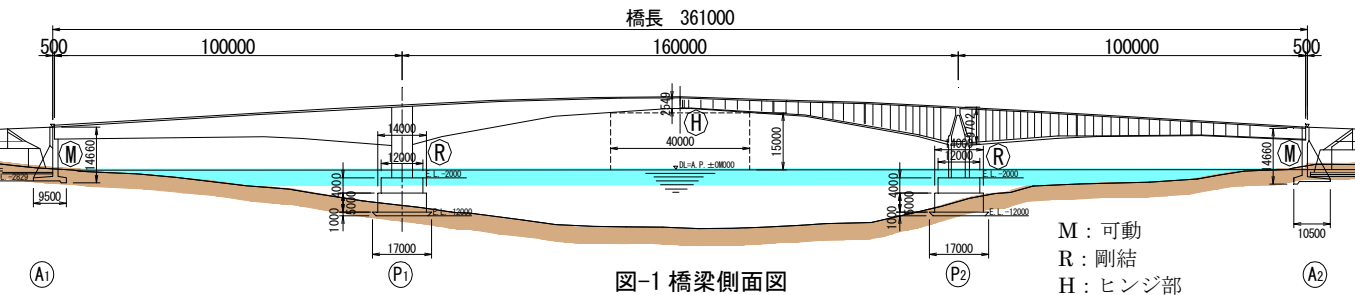
写真-1 (対象橋梁)

2. 橋梁諸元

構造形式は図-1に示すように3径間連続PC有ヒンジラーメン橋である。橋長361m、支間割りは100m+160m+100mであり当時の支間長としては、ドイツのライン河に架かるベンドルフ橋につぐ長大橋で日本では最長(当時世界第2位)であった。有効幅員は6.5mである。下部構造および基礎形式は、橋台はRC控壁式形式(基礎:直接基礎)であり、橋脚はケーソン式プレキャストコンクリートを有する単柱式RC中空橋脚である。

特に静弾性係数については、橋梁の振動特性に影響を与えるため、設計当初(規定値)と実測値の静弾性係数を比べ動的振動特性の検討を行った。設計当初および実測値の静弾性係数については、上部構造は35,000N/mm²(実測値:39,320N/mm²)、下部構造は35,000N/mm²(実測値:27,700N/mm²)であった。下部構造が上部構造より低い値を示しているのは、塩害による影響と思われる。

コンクリート強度は、上下部構造とも施工当時の規定値はそれぞれ40N/mm²であったが、実測値は上部構造53N/mm²、下部構造48N/mm²であり、実測値が規定値を上回っていた。



3. 解析手法および解析モデル

解析手法は時刻歴非線形応答解析(Newmark-β法)とし、動的解析の収束性を考慮してβ=0.25、動的非線形解積分時間間隔を0.002秒とした。解析プログラムはTDAPⅢを使用した。上部構造については線形モデルと非線形モデル(M-φ)、下部構造については、柱上下端に塑性回転モデル(M-θ)、一般部は弾性剛性モデルを設定した。各部位のモデル化については詳細については表-1、図-2に示す。

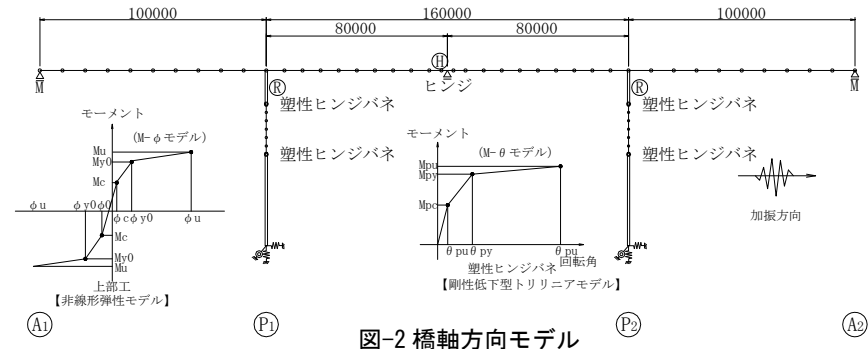


表-1 各部位の構造モデル

部材	モデル化要素	適用
上部工	線形解析時	線形梁要素
	非線形解析時	非線形はり要素
中央ヒンジ部	---	鉛直・直角方向に固定
橋脚	塑性ヒンジ部	非線形回転バネ要素
	一般部	線形梁要素
橋台	---	弾性剛性
基礎工	---	1種地盤

キーワード: PC有ヒンジラーメン橋、静弾性係数、固有値解析、振動特性、時刻歴非線形応答解析、耐震補強
連絡先: 〒812-0016 福岡市博多区博多駅南4丁目2番10号 TEL: 092-433-0770 FAX: 092-433-0775

4. 固有値解析結果（動的振動特性）

4-1 固有周期および減衰定数

各次モードについては、橋軸方向、直角方向（以下両方向）とも施工当時（昭和 41 年）の振動試験および理論値結果（表-4）とほぼ類似の傾向を示した。また、実測値（静弾性係数）による固有値解析結果は表-3 に示す。その結果、実測値の方が実験値（施工当時）に近い値（1 次モード）の傾向になった。減衰定数設定については、卓越する次数（例えば橋軸方向 2 次モードと 6 次モード：表-2）を抽出しレーリー減衰より求めた。

4-2 各モード図

1 次、2 次、8 次モードを示す。各モードに対して上部工の振動モードが卓越している。施工時の振動モードも類似傾向を示した。

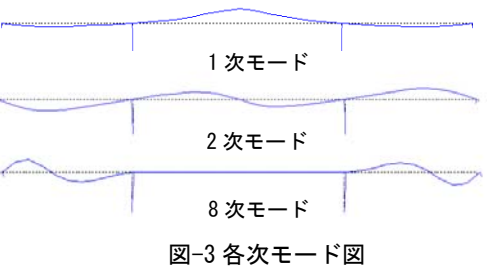


図-3 各次モード図

表-2 固有値解析結果（規定値）

モード次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数 橋軸	刺激係数 鉛直	ひずみ比 比例減衰定数
1	0.92939	1.07597	-0.013	19.532	0.02950
2*	1.19167	0.83916	-28.396	-0.157	0.02815
3	1.66709	0.59985	-0.114	56.690	0.02976
4	2.46427	0.40580	21.583	0.042	0.02997
5	3.35216	0.29831	-0.048	30.939	0.02968
6*	4.05480	0.24662	66.036	0.101	0.03266
7	5.03475	0.19862	0.582	-19.758	0.03002
8	5.68655	0.17585	50.849	0.049	0.03266
9	6.35045	0.15747	-0.170	-7.861	0.03294
10	7.72245	0.12949	-27.646	-0.038	0.03119

※モード次数末尾の*は、減衰の設定として選択したモード次数を示す。

表-4 振動試験および解析結果（施工当時）

振動次数 n	実験値	固有周期(sec) 理論値				対数減衰率
		3-V	3-VH	K-40	K-20	
対称振動	1	1.266 (79)	1.267 (79)	1.301 (77)	1.341 (75)	—
	3	0.638 (84)	0.643 (83)	0.671 (80)	0.677 (79)	0.062
逆対称振動	5	0.295 (82)	0.358 (82)	0.376 (78)	0.365 (79)	0.18
	7	0.204 (112)	0.182 (100)	0.218 (93)	0.194 (105)	-0.13
逆対称振動	2	0.634 (96)	0.661 (96)	0.701 (90)	0.717 (88)	0.092
	4	0.363 (98)	0.371 (98)	0.378 (96)	0.379 (96)	0.044
逆対称振動	6	0.190 (104)	0.182 (105)	0.218 (98)	0.194 (98)	-0.045
						-0.17

注：カッコ内は実験値と理論値との固有周期比率である。

表-3 固有値解析結果（実測値）

モード次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数 橋軸	刺激係数 鉛直	ひずみ比 比例減衰定数
1	0.97404	1.02665	-0.014	19.024	0.02961
2	1.24121	0.80566	-28.876	-0.151	0.02834
3	1.75878	0.56858	-0.112	56.872	0.02980
4	2.60362	0.38408	22.218	0.042	0.02999
5	3.54103	0.28240	-0.052	31.263	0.02971
6	4.21949	0.23700	-68.612	-0.094	0.03300
7	5.32030	0.18796	0.605	-20.060	0.03001
8	5.92124	0.16888	48.894	0.077	0.03253
9	6.61507	0.15117	-0.185	-8.077	0.03300
10	8.09737	0.12350	25.458	0.038	0.03100

3-V：鉛直慣性力を考慮した場合
3-VH：鉛直慣性力と水平慣性力を考えた場合
k-40、20：基礎バネ考慮

5. 耐震補強検討

耐震照査結果より耐震補強対策として、下記に示す方策にて補強検討を行った（図-4）。

5-1 下部構造

耐震性能照査結果、曲げ曲率応答（両方向）は問題なかった。せん断耐力（両方向）は不足との結果であったため、せん断補強に対して様々検討した結果、炭素繊維による補強検討を行った。海上施工であるためその対策検討を行った。ドライ施工にて工事を実施する必要があり、台船施工による鋼矢板締切り工法の検討を行った。

5-2 上部構造

主桁の主要部材に対しては、耐震性能照査した結果、曲げ曲率（一部分：橋軸方向）、せん断耐力（両方向）は満足しなかった。曲げおよびせん断補強については炭素繊維補強の検討を行った。中央ヒンジ部において大型車走行時、振動、音が発生するためその対策として、主桁ヒンジ部の連続化、緩衝材の設置等の検討を行った。

また、橋台部、ヒンジ部の落橋防止システム（変位制限装置、落橋防止構造）の対策検討を行った。

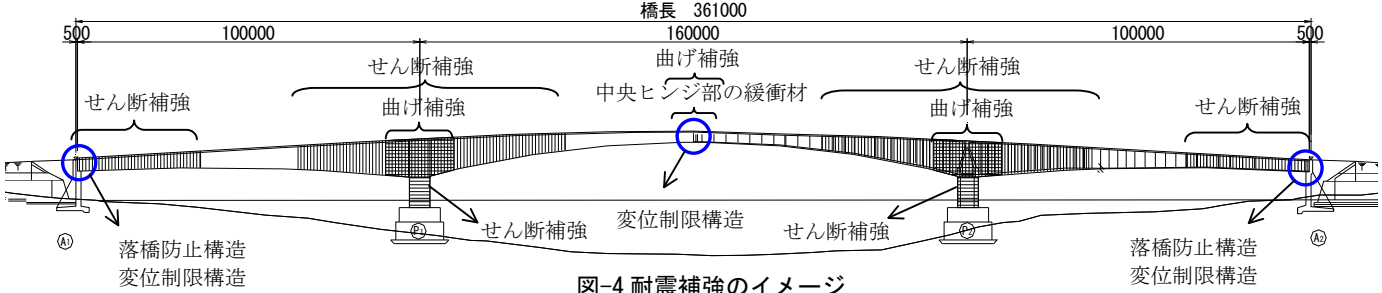


図-4 耐震補強のイメージ

6. まとめ

動的振動特性は、施工当時と今回の解析結果を対比したが、両者ともその結果（固有周期、振動モード等）は妥当であることが確認できた。PC ラーメン橋は、竣工して約 50 年になるが現段階で既設橋のレベル 2 地震動に対する耐震補強事例は、一般橋梁に比べ少ないと思われる。今回の耐震性能照査より古い基準（当時の設計基準：プレストレストコンクリート設計施工指針 昭和 36 年土木学会）にて完成（設計）した橋梁に対して、上下部構造ともせん断耐力照査は厳しい結果であった。上部構造に対しての曲げ曲率応答は、一部若干許容値を満足しない箇所があったが、下部構造（橋脚の主鉄筋 D22）に対して曲げ曲率応答は、十分曲げ耐力があることが確認された。

【参考文献】 1）日本道路協会：道路橋示方書・同解説 各編Ⅰ～Ⅴ（平成 14 年 3 月）

2）日本道路公団編集：工事報告 天草 5 橋 調査編 設計編 施工編（昭和 42 年 5 月）

3）日本道路協会：道路橋の耐震補強に関する資料（平成 10 年 1 月）

4）海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集（平成 17 年 4 月）