

VI-162 地震により被災した鉄道高架橋の固有振動数を用いた健全度判定事例

阪急電鉄 奥野雅弘
 阪急エンジニアリング 門田清人
 阪急エンジニアリング 正会員 上野勝大

1. はじめに

阪急電鉄伊丹線は兵庫県南部地震により伊丹駅部のラーメン高架橋が倒壊する等、多大な被害を受けた。倒壊した駅部高架橋は再構築を行ったが、この取付部にあたる伊丹第一高架橋～伊丹第三高架橋については、主に高架橋柱に損傷を受けたものの、倒壊には至っておらず、断面修復、ひび割れ部の樹脂注入等の補修工事、並びに鋼鈹巻立て等の補強工事を行い運転を再開している。本文は、この補修、補強工事のみにより復旧を行った区間において、固有振動数を用いて健全度判定を行った事例について報告するものである。

2. 伊丹高架橋の構造概要

伊丹第一高架橋～伊丹第三高架橋は、1径間～3径間の複線2柱式RCラーメン高架橋10基からなるもので、基礎形式はすべて直接基礎である。本高架橋区間は駅部への取付区間であることからそのほとんどが勾配中となっており、比較的高架高

表-1 構造概要一覧

高架橋名	ラーメン番号	径間数	高架高さ(m)	中間梁の有無	柱補強の有無	補強方法
伊丹第一高架橋	RA-1N	1径間	5.221	無し	有り	スパイラル筋巻立て
	R-1	3径間	5.878	無し	有り	スパイラル筋巻立て
	R-2	3径間	6.622	無し	無し	—
	R-3	3径間	7.366	無し	無し	—
	R-4	3径間	8.079	無し	無し	—
伊丹第二高架橋	R-5	2径間	8.437	有り	有り	鋼鈹巻立て
	R-6	3径間	8.836	有り	有り	鋼鈹巻立て
	R-7	3径間	9.156	有り	無し	—
伊丹第三高架橋	R-8	3径間	9.151	有り	無し	—
	R-9	2径間	9.398	有り	有り	鋼鈹巻立て

が高くなる伊丹第二高架橋及び伊丹第三高架橋については中間梁が設置されている。また、震災による損傷度合の激しかった高架橋柱については、スパイラル筋巻立てあるいは鋼鈹巻立てにより補強工事が行われている。表-1に構造概要の一覧を示す。

3. 健全度判定方法

今回行った健全度判定の手順は以下に示す通りである。

- ① 衝撃振動試験により各ラーメン高架橋の固有振動数を測定する。
- ② 第一段階として(財)鉄道総合技術研究所が提案する固有振動数の標準値並びに健全度指標により実測固有振動数を評価する。ここで標準値とは実測振動数を評価する目安となる振動数、また健全度指標とは、実測値/標準値で算出される値で、この値により表-2に示す通り判定ランクが区分される。
- ③ 第一段階で判定ランクがAランクとなるラーメン高架橋は、第二段階として固有値解析を実施し、実測値と解析値の比較を行う。またモード解析により解析値の検証を行う。

表-2 健全度判定の目安

健全度指標	判定ランク	処置
0.70以下	A1	詳細な検討を行い、対策を考慮する。
0.71以上0.85未満	A2	固有振動数の低下など進行性を把握する。
0.86以上	B	現状では問題が少なく健全であると考えられる。

4. 健全度判定結果(第一段階)

表-3に衝撃振動試験により実測した固有振動数並びに第一段階の健全度判定結果を示す。これによると、伊丹第一高架橋のR-2～R-4がA2ランクとなり、これを除くラーメン高架橋はBランクとなる。この結果を表-1で示した構造概要と照らし合わせてみると、高架橋柱の補強を行っているラーメンについてはすべてBランクとなっていることが解る。さらに、中間梁の設置されているラーメン高架橋についてもすべてBラン

キーワード：健全度判定、衝撃振動試験、固有振動数、固有値解析

連絡先：〒530-0012 大阪市北区芝田1-4-8-4F TEL.(06)6359-2756 FAX.(06)6359-2762

クとなっていることが解る。つまり、柱の補強を行っていないラーメン高架橋のうち中間梁のないタイプのものだけが、A2 ランクになっているということになる。第一段階の健全度判定結果としては、判定ランクがBランクとなった7基のラーメン高架橋については健全度について特に問題はないと判断した。A2 ランクとなった3高架橋（R-2～R-4）については、手順に従い、固有値解析を行うこととした。

5. 健全度判定結果（第二段階）

A2ランクとなったR-2、R-3、R-4の各ラーメン高架橋について、固有値解析を実施した。なお、ここでは、設計計算上の地盤ばねや部材の剛性を入力して固有振動数を算出している。解析の結果、固有振動数の解析値はR-2 から順に 2.36Hz、2.05Hz、1.85Hz となり、表-3 に示す実測固有振動数は全て解析値を上回っていることが確認できた。さらに、本解析の検証として最も健全度指標値が低かった R-3 についてモード解析を実施した。ここで言うモード解析とは、固有値解析結果として得られる解析上の固有振動数並びに振動モードをこれらの実測値と一致させるように、解析モデルについて地盤ばね定数や部材の剛性等をシュミレートしていくものである。図-1 に当初の固有値解析（初期値）におけるモード図を示す。縦軸が高架橋の高さ(m)、横軸が振幅（任意の係数を乗じている）を示す。実測値（測点モード座標）に比べ解析値（モード座標）は柱の下方側測点における振幅が大きくなっていることが解る。これにより、地盤の状態が当初に想定したものよりも実際はさらに良好であることが予測できる。こういった予測に基づいて、初期モデルについてシュミレートを繰り返していくと、地盤ばね定数を初期値の 2.5 倍、部材の剛性を初期値の 1.1 倍した場合、図-2 のモード図に示すように、固有振動数及び振動モードとも、実測値と解析値がよく一致する結果となった。当初は、目視では確認できない被災後の地盤の緩みが懸念されていたが、本解析結果から考えると、地盤は設計計算値を上回る十分な強度を有していることが想定できる。

表-3 実測振動数と健全度評価結果

	ラーメン番号	標準値 (Hz)	実測値 (Hz)	健全度指標	判定ランク
伊丹第一高架橋	RA-1N	3.608	4.9	1.36	B
	R-1	3.460	3.8	1.10	B
	R-2	3.300	2.8	0.85	A2
	R-3	3.165	2.3	0.73	A2
伊丹第二高架橋	R-4	3.055	2.3	0.75	A2
	R-5	3.015	3.4	1.13	B
	R-6	2.954	3.7	1.25	B
伊丹第三高架橋	R-7	2.917	2.8	0.96	B
	R-8	2.918	3.9	1.34	B
	R-9	3.551	4.7	1.32	B

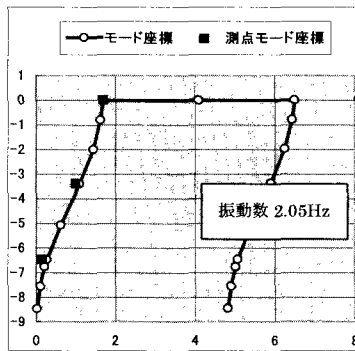


図-1 モード図（初期値）

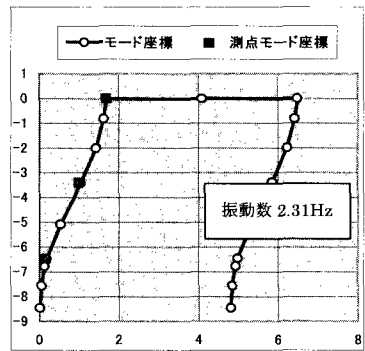


図-2 モード図（シュミレート後）

6. おわりに

今回の健全度判定は、ラーメン高架橋の健全度を評価する指標として固有振動数を用いたものである。今回の健全度調査により、中間梁や柱補強の有無あるいは高さの違い等は、明確に固有振動数の違いとなって現れることが確認できた。また、固有値解析やモード解析を実施することにより、健全度をある程度定量的に評価することも可能であると言える。しかしながら、固有振動数を用いて健全度を評価する最も良い方法は、まず、健全な状態の固有振動数を測定しておき、これを初期値として固有振動数の変化を追跡していくことである。伊丹高架橋は地震以前に固有振動数を測定していなかったことから、この方法を用いることができなかったが、地震以前の固有振動数が解っていれば、さらに的確に健全度を評価できたと考える。以上より、今後は当高架橋のみならず、橋脚やラーメン高架橋については、その固有振動数の初期値を測定しておくことが重要であると言える。

<参考文献> 「衝撃振動試験マニュアル」平成6年3月：(財) 鉄道総合技術研究所