

PC ラーメン橋の地震観測に基づくフーチングの地震応答に関する考察

国土交通省

国土技術政策総合研究所

正会員

中川

量太

国土交通省

国土技術政策総合研究所

正会員

○片岡

正次郎

国土交通省

国土技術政策総合研究所

正会員

星隈

順一

1. はじめに

橋脚のフーチングで観測される地震応答は、その周辺地盤の応答とは乖離する場合があります、この原因としては、地震動の入力損失の影響や橋梁の固有振動モードの寄与が考えられる。このうち固有振動モードの寄与については、これまでに詳細な検討がなされた事例が少なく、また、解析に基づく検討で結論付けすることが困難な課題でもあることから、実橋での地震観測データの蓄積が必要とされている。そこで、本研究では、PC ラーメン橋の地震観測を実施し、橋脚フーチングの応答における振動モードの影響について考察を行った。

2. 地震観測の概要

観測対象とした橋は表-1 に示す橋長 276m の PC4 径間連続ラーメン箱桁橋である。本橋の一般図及び地震計の設置点を図-1 に示す。地震計は、P3 橋脚のフーチングから水平方向に 2m 程度離れた地山、P3 橋脚のフーチング上面及び P3 橋脚直上の橋面上の各点に 1 基ずつ設置している。観測期間において得られた主な地震記録を表-2 に示す。なお、本橋周辺の地盤は I 種地盤であり、火山岩類の古い地層に溶岩が堆積している。

3. 地震応答に関する考察

P3 橋脚の入力地震動に対する応答特性を把握するため、表-2 のうち最大入力加速度が最も大きい 2017 年 9 月 8 日 14 時 20 分の記録を用いて、フーチング/周辺地山のスペクトル比を、橋軸方向、橋軸直角方向及び鉛直方向の 3 方向で作成した(図-2)。図-2 より、各方向において入力地震動とフーチングの応答の関係

は複雑であるが、また、フーチングでは周辺地盤と比較して、橋軸方向の 0.05 秒付近、鉛直方向の 0.03 秒付近の周期帯の成分が特に卓越していることが確認できた。その上で、別途実施した固有値解析の結果を用いて、フーチングの橋軸方向、鉛直方向の応答が大きくなる振動モードの確認を試みた。固有値解析は、図-3 に示す解析モデルを用いて、50 次モードまで特定を行った。固有値解析の結果、50 次モードにおける振

表-1 阿蘇長陽大橋の橋梁諸元

橋 梁 名	阿蘇長陽大橋
橋 長	276.0m
支 間 長	39.3m+91.0m+91.0m+53.3m
上 部 構 造 形 式	PC 4 径間連続ラーメン箱桁橋
下 部 構 造 形 式	逆 T 式橋台、壁式中空橋脚
基 礎 工 形 式	直接基礎 (A1 橋台、P2 橋脚、A2 橋台) 深礎杭基礎 (P1 橋脚 φ3500×4 本、 P3 橋脚 φ3500×6 本)
支 承 形 式	鋼製可動支承 (A1 橋台、A2 橋台)
適 用 示 方 書	昭和 55 年 道路橋示方書
設 計 荷 重	TL-20
架 設 年 次	平成 5 年 (1993 年)

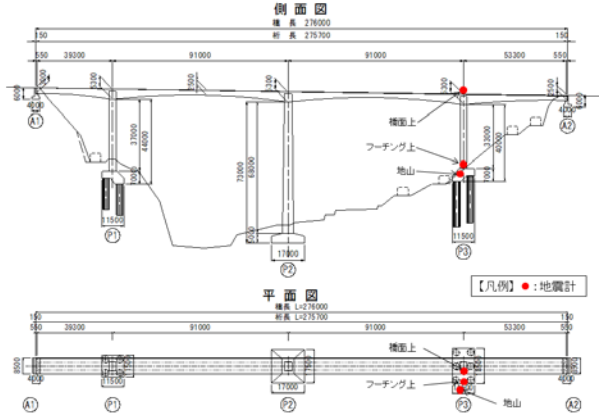


図-1 阿蘇長陽大橋の橋梁一般図及び地震計設置点

表-2 主な地震記録

発生時刻	M	震源位置		最大入力加速度 (地山, [Gal])
		緯度	経度 (深度)	
2017年9月7日 10:46:39	M2.4	32.43.2N	130.38.7E (10km)	0.363
2017年9月8日 14:20:11	M4.1	32.43.4N	130.40.4E (14km)	3.648
2017年9月9日 7:21:44	M3.1	32.43.4N	130.40.1E (13km)	0.521
2017年9月9日 9:15:07	M2.7	32.53.6N	130.40.2E (13km)	0.381
2017年9月13日 23:59:25	M2.9	32.44.7N	130.39.5E (11km)	0.380
2017年9月14日 15:27:15	M2.8	32.42.0N	130.37.3E (10km)	0.505
2017年10月7日 15:10:36	M2.1	32.50.0N	130.50.2E (10km)	0.487
2017年10月7日 19:19:52	M2.5	32.58.3N	131.02.9E (6km)	1.157
2017年10月8日 12:05:35	M3.8	32.31.3N	130.39.3E (10km)	0.593
2017年10月14日 18:32:39	M2.5	32.32.7N	130.44.1E (8km)	0.371
2017年10月24日 0:14:45	M3.2	32.29.1N	130.37.5E (10km)	0.414
2017年11月6日 4:49:20	M1.9	32.39.4N	130.41.2E (9km)	0.493

キーワード：PC ラーメン橋、地震観測、地震応答、振動モード

連絡先：〒869-1404 熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字河陽 3574 番地

国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター熊本地震復旧対策研究室

動数が約 18Hz となり、フーチングの鉛直方向の卓越振動数がこれを上回ったため、今回の解析の結果を用いた考察では、橋軸方向の卓越周期にのみ着目し、振動モードの特定を試みた。固有値解析の結果、フーチングの橋軸方向の応答が卓越した振動モードを表-3に示す。表-3に示す振動モードの中で、固有周期が 0.05 秒近傍であるものは 37 次、41 次、42 次、50 次であり、これらの実応答への寄与が考えられる。一方、図-2 の描画で用いた観測記録にバンドパスフィルターをかけ、フーチング及び橋面上における 3 平面上の応答軌跡(図-4)を描画した結果、フーチングで橋軸方向の応答が卓越することに加え、橋面上では橋軸直角方向の応答が卓越することが分かり、この傾向は先述した 4 モードのうち、41 次モード(図-5)に最も一致した。以上から、41 次モードが本橋の応答に寄与し、これによりフーチングと周辺地盤の地震応答の乖離が生じていると考えられる。

4. まとめ

検討対象とした PC ラーメン橋のフーチングが周辺地山と異なる地震応答を示すメカニズムについて、フーチングの橋軸方向の地震応答が卓越する振動モードの寄与を考え、別途実施した固有値解析結果を用いて振動モードの特定を試みた。橋軸方向において、フーチングの卓越周期帯の成分による P3 橋脚の応答軌跡が、阿蘇長陽大橋の 41 次モードと最も一致し、これが周辺地盤の応答との乖離に寄与していると考えられる。

なお、本検討で使用した固有値解析のモデルでは、基礎部分は各フーチング下端に集約線形ばね要素として設定しており、深礎基礎の振動モードへの厳密な影響を考慮しフーチングの挙動を考察するには、解析モデルの詳細化等が必要と考えられる。

謝辞：本研究の実施にあたっては、国土交通省九州地方整備局熊本復興事務所から資料提供等のご協力を頂いた。ここに深謝の意を表する。

参考文献：

澤田・今村・中川・星隈：熊本地震で被災した PC ラーメン橋の復旧とモニタリングの活用、土木技術資料 60 巻 2 号、2018、pp. 36-39

表-3 フーチングの橋軸方向の応答が卓越する振動モード

モード	固有周期[s]	振動数[Hz]	減衰定数
7	0.359	2.783	0.04441
9	0.280	3.568	0.04432
14	0.194	5.153	0.04350
15	0.170	5.882	0.04350
18	0.163	6.120	0.05348
21	0.127	7.863	0.04307
22	0.124	8.069	0.04332
28	0.104	9.644	0.04344
27	0.100	10.019	0.04804
30	0.091	10.985	0.04410
32	0.085	11.715	0.04352
35	0.075	13.324	0.04947
37	0.071	13.987	0.04225
41	0.068	14.733	0.05411
42	0.067	14.953	0.04337
50	0.055	18.089	0.04423

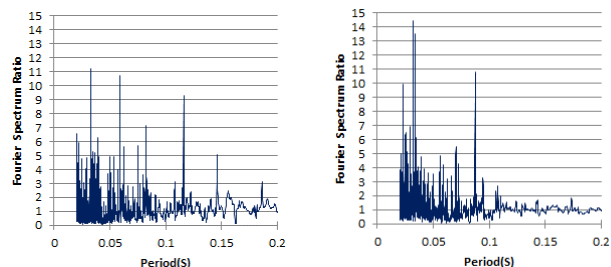


図-2 フーチング/周辺地山のスペクトル比
(右上：橋軸方向、左下：橋軸直角方向、右下：鉛直方向)

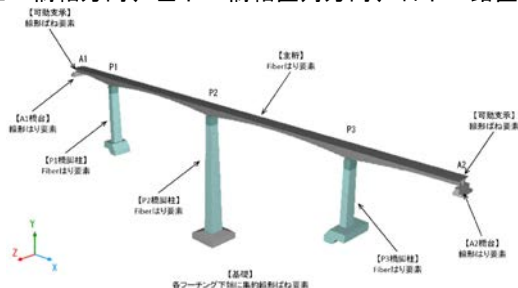


図-3 固有値解析モデルの概要

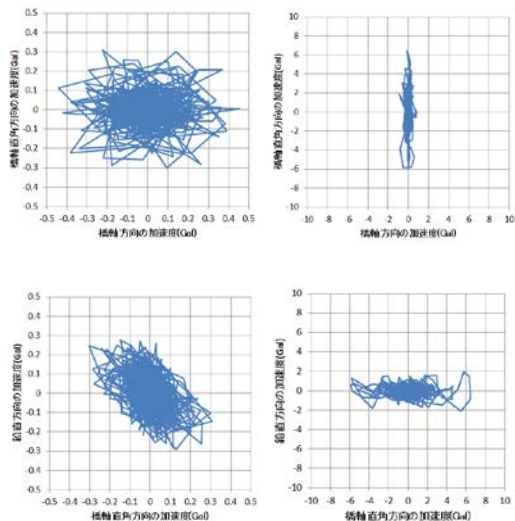


図-4 15[Hz]～25[Hz]成分による応答軌跡
(左：フーチング、右：橋面上)

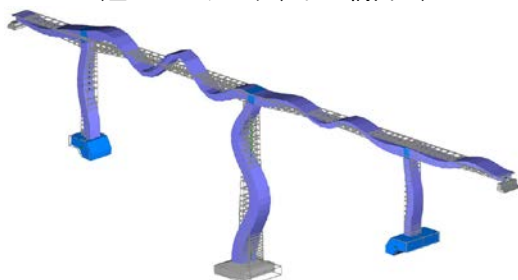


図-5 41 次モード