

芸予地震時における橋梁の動的応答について

広島大学大学院 学生会員 ○小澤 武範

広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治

広島大学大学院 正会員 藤井 堅

1. まえがき

安芸灘を震源とする「平成13年芸予地震」（気象庁マグニチュード $M=6.7$ ）における広島市の最大震度は5強であった。芸予地震はプレート内部で発生したスラブ内地震であり、プレート境界型あるいは内陸活断層型地震とは発生のメカニズムが異なっており、地震動の短周期成分が多く、加速度振幅が増大することが知られている。このような特性を有する芸予地震動を、いくつかの形式の橋梁に作用させてその動的応答特性を考察することは、特に広島県における防災を考える上で有益と思われる。そこで、広島県内の4種類の橋梁（連続桁、アーチ、トラス、箱桁橋）に対して、固有振動解析および動的応答解析を行い動的挙動特性を比較検討した。

2. 解析対象とした橋梁と解析モデル

以下に示す4種類の橋梁を選定し、立体梁要素に分割して数値解析モデルを作成する(図-1)。それぞれの橋梁に対して、固有振動解析及びモード解析を用いた動的応答解析を行う。

- ・宇品大橋（連続箱桁）
- ・鉛直材付ワーレントラス
- ・御園宇高架橋（連続桁）
- ・宇品橋（アーチ）

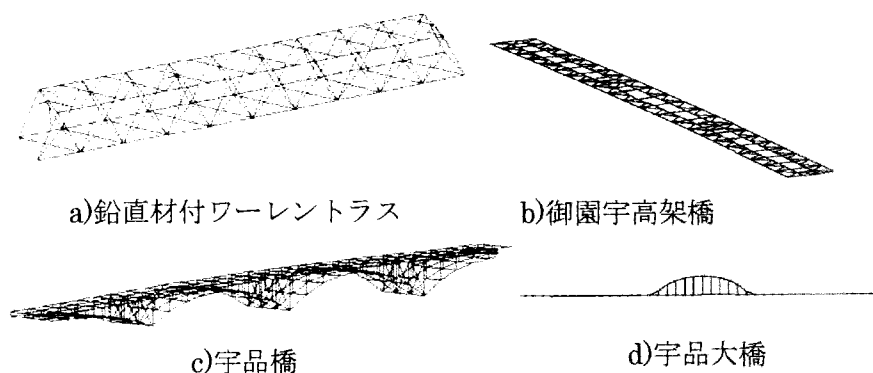


図-1 解析対象とした橋梁

3. 解析に用いた芸予地震時の記録波形

芸予地震（2001年3月）時に、図-2に示す各観測所で計測された地震波を動的応答解析に用いることにした。これらはK-NETから得たデータのうち、最大加速度の大きいものから順に8個と、その他2つのデータを選択したものであり、それぞれを橋軸直角方向に作用させた。図-3, 4 芸予地震時の牛田観測所、及び比較のため、阪神淡路大震災時の神戸海洋気象台NS波を示し、図-5, 6はそれぞれの応答スペクトルを示している。

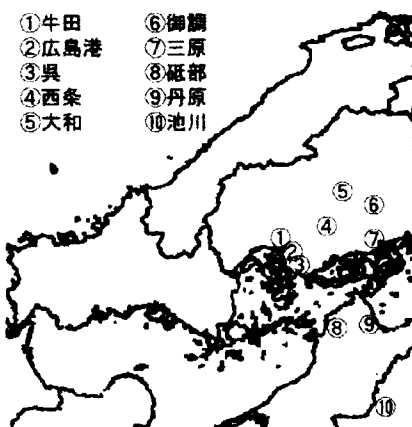


図-2 観測点

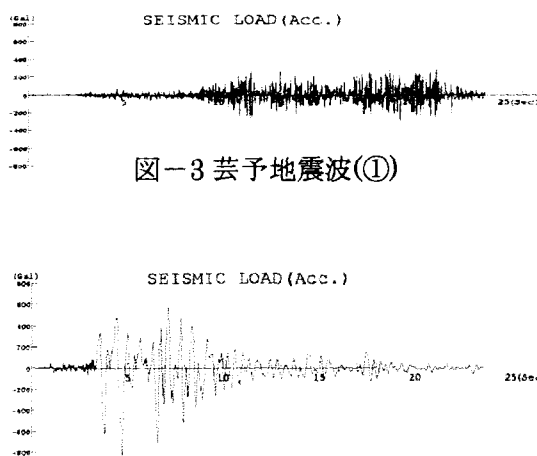


図-3 芸予地震波(①)

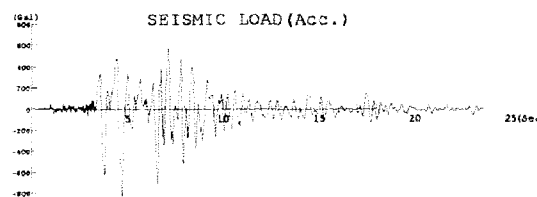


図-4 神戸海洋気象台 NS 波

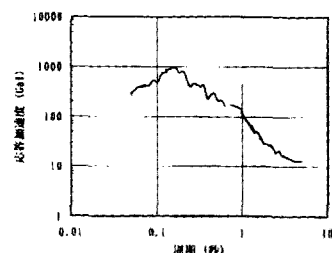


図-5 応答スペクトル(①)

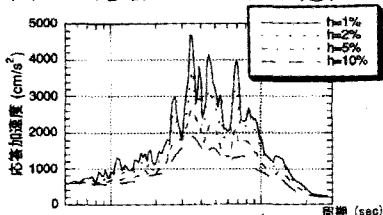


図-6 応答スペクトル
(神戸海洋気象台 NS 波)

4. 解析結果

線形解析であるため、各地震波の最大加速度を 300gal に揃え、その変位応答について調べた。各地震波による最大変位を以下の表-1~4 に示す。また、阪神淡路大震災時に神戸海洋気象台で得られた NS 波を比例的に低減し最大加速度を 300gal にした地震波により得られた変位応答について比較し、更に静的震度 0.3 による変位応答についても調べた。解析に用いた減衰定数は 0.03 である。

表-1 鉛直材付ワーレントラス

固有振動数: 水平1次 2.985Hz, 鉛直1次 3.155Hz						
橋軸直角方向荷重 観測地	最大変位(cm)		阪神大震災 との 変位比	最大変位(cm)		阪神大震災 との 変位比
	EW波	NS波		鉛直方向 EW波	NS波	
牛田	2.69	1.01	0.69	0.43	0.22	0.82
広島港	2.69	1.81	0.69	0.49	0.31	0.94
呉	2.71	2.52	0.69	0.39	0.34	0.75
西条	2.18	0.25	0.56	0.34	0.25	0.65
大和	2.39	0.56	0.61	0.37	0.08	0.70
御調	3.81	0.31	0.97	0.51	0.31	0.98
三原	2.86	0.21	0.73	0.49	0.21	0.94
砥部	3.21	0.37	0.82	0.54	0.37	1.02
丹原	4.89	3.02	1.25	0.78	0.45	1.49
池川	3.73	2.46	0.95	0.49	0.39	0.93
阪神淡路大震災	3.92		1.00	0.53		1.00
静的荷重	1.09		0.28	0.11		0.20

表-2 御園宇高架橋

固有振動数: 水平1次 5.618Hz, 鉛直1次 4.329Hz						
橋軸直角方向荷重 観測地	最大変位(cm)		阪神大震災 との 変位比	最大変位(cm)		阪神大震災 との 変位比
	EW波	NS波		鉛直方向 EW波	NS波	
牛田	1.34	0.68	7.42	0.05234	0.02721	3.82
広島港	1.59	0.77	8.84	0.07083	0.03454	5.17
呉	0.74	0.60	4.13	0.04012	0.02547	2.93
西条	0.81	0.88	4.87	0.05931	0.04605	4.33
大和	0.98	0.13	5.45	0.05129	0.00872	3.74
御調	0.75	0.41	4.17	0.05129	0.02093	3.74
三原	0.89	0.88	4.92	0.04745	0.05582	4.07
砥部	0.47	0.60	3.33	0.04640	0.04396	3.39
丹原	0.61	0.57	3.41	0.05059	0.03280	3.69
池川	1.31	0.61	7.27	0.08862	0.03943	6.47
阪神淡路大震災	0.18		1.00	0.01370		1.00
静的荷重	0.14		0.78	0.00521		0.38

表-3 宇品橋

固有振動数: 水平1次 3.051Hz, 鉛直1次 3.430Hz						
橋軸直角方向荷重 観測地	最大変位(cm)		阪神大震災 との 変位比	最大変位(cm)		阪神大震災 との 変位比
	EW波	NS波		鉛直方向 EW波	NS波	
牛田	1.13	0.79	0.53	0.05	0.04	2.53
広島港	2.07	1.85	0.97	0.11	0.06	5.74
呉	2.81	2.67	1.32	0.10	0.08	5.08
西条	1.65	1.34	0.77	0.08	0.04	4.15
大和	1.46	0.34	0.69	0.06	0.01	3.22
御調	2.53	1.74	1.19	0.08	0.05	4.06
三原	2.16	0.69	1.01	0.07	0.03	3.37
砥部	2.94	2.00	1.38	0.08	0.07	4.24
丹原	3.80	1.78	1.78	0.11	0.05	5.74
池川	2.14	1.85	1.00	0.09	0.05	4.51
阪神淡路大震災	2.13		1.00	0.02		1.00
静的荷重	0.83		0.39	0.03		1.37

表-4 宇品大橋

固有振動数: 水平1次 0.472Hz, 鉛直1次 0.574Hz						
橋軸直角方向荷重 観測地	最大変位(cm)		阪神大震災 との 変位比	最大変位(cm)		阪神大震災 との 変位比
	EW波	NS波		鉛直方向 EW波	NS波	
牛田	4.24	1.45	0.22	0.00059	0.00037	0.22
広島港	11.77	9.10	0.60	0.00207	0.00300	1.09
呉	8.18	12.04	0.61	0.00276	0.00175	1.01
西条	8.99	11.53	0.59	0.00148	0.00122	0.54
大和	10.94	2.42	0.56	0.00178	0.00048	0.65
御調	19.49	12.99	0.99	0.00286	0.00272	1.04
三原	12.47	8.48	0.63	0.00175	0.00123	0.64
砥部	8.53	16.04	0.81	0.00291	0.00370	1.35
丹原	12.66	9.10	0.64	0.00266	0.00822	3.00
池川	14.69	19.68	1.00	0.00293	0.00406	1.48
阪神淡路大震災	19.70		1.00	0.00274		1.00
静的荷重	38.50		1.95	0.00156		0.57

本解析の結果、以下のことが明らかになった。

- ① 芸予地震波は短周期成分が多く含まれており、観測地点の地盤構造により特性に違いは見られるが、阪神淡路大震災時の神戸海洋気象台 NS 波に比べて、構造物の応答特性に違いが見られた。
- ② 一次固有振動数が 3Hz 程度の単純梁に近い橋梁では神戸海洋気象台 NS 波の応答変位が大きく、また、3Hz より一次固有振動数が高い連続桁構造では、二次以上のモードも寄与する度合いが大きいため、芸予地震波の応答倍率が大きいケースも見られた。応答倍率で見ると最大で 10 倍程度であった（減衰定数 0.03）。
- ③ 一次固有振動数が 1Hz 以下の橋梁の場合は、応答倍率が 1 より低くなる傾向も見られた。

5. まとめ

本検討では、芸予地震時に 10 箇所を観測された地震波を最大加速度が 300gal となるように変えたものを用いて 4 種類の橋梁の動的応答を検討した。さらに、阪神淡路大震災時の神戸海洋気象台 NS 波を 300gal に変倍したもの、および静的震度 0.3 の場合とも比較した。本検討の結果、地震波の周波数特性と構造物の固有振動数の相対的關係により、また構造形態が低次モードのみ支配的か、または高次モードまで応答に大きく関与するかなどにより、橋梁の動的応答特性は異なるが、概ね、応答スペクトルから予想される結果と整合することが確認された。線形解析であるため当然の帰結とも言えるが、今後は上部工に限らず橋脚や基礎も含めた非線形解析で、さらに詳細に検討する必要があるものと思われる。

参考文献: 社団法人日本道路公団: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 独立行政法人防災化学研究所: K-NET