

鋼アーチ橋への鉛直地震動の影響

林 博明¹・針谷 清久²

¹正会員 ㈱日本構造橋梁研究所 振動研究部（〒107 東京都港区南青山5-12-4）

²正会員 ㈱日本構造橋梁研究所 設計第1部（〒107 東京都港区南青山5-12-4）

1. まえがき

平成7年1月17日未明に発生し神戸市や淡路島などに多大な被害をもたらした兵庫県南部地震は、被害の激しさより特別な地震とされ阪神・淡路大震災と命名された。

橋梁は数橋が落橋し、橋脚の被害は多岐多数となった。このような被害の状態を受け、道路橋示方書が平成8年12月に改訂された。新道示に基づいた設計例として“道路橋の耐震設計に関する資料”が平成9年3月に出された。

新道示や設計例には、水平方向の地震動に対する照査方法は盛り込まれているが、鉛直地震動に対する規定は見受けられない。

兵庫県南部地震では、鉛直方向に突き上げるような衝撃があったとの報告があり、地震波形の観測記録にも鉛直方向の明確な波が残っている。

本文は、比較的卓越周期の短い鋼アーチ橋を対象

として短い周期成分の卓越する鉛直地震動の影響を調べるものである。

2. 解析条件

(1) 対象構造物

解析対象は、橋長166m、アーチスパン126m、ライズ21mの鋼アーチ橋である。

(2) 解析モデル

解析モデルは、アーチ、補剛桁、柱部材等からなる立体モデルで、図-1のとおりとする。

(3) 解析手法

解析手法は、線形解析とする。

アーチ橋のように複雑な構造の鋼部材の非線形性の仮定は、道示にも明確に示されていない。保有耐力レベルの地震力に対して部材の塑性化が考えられるが、ここでは非線形解析の前段として線形にて解析する。

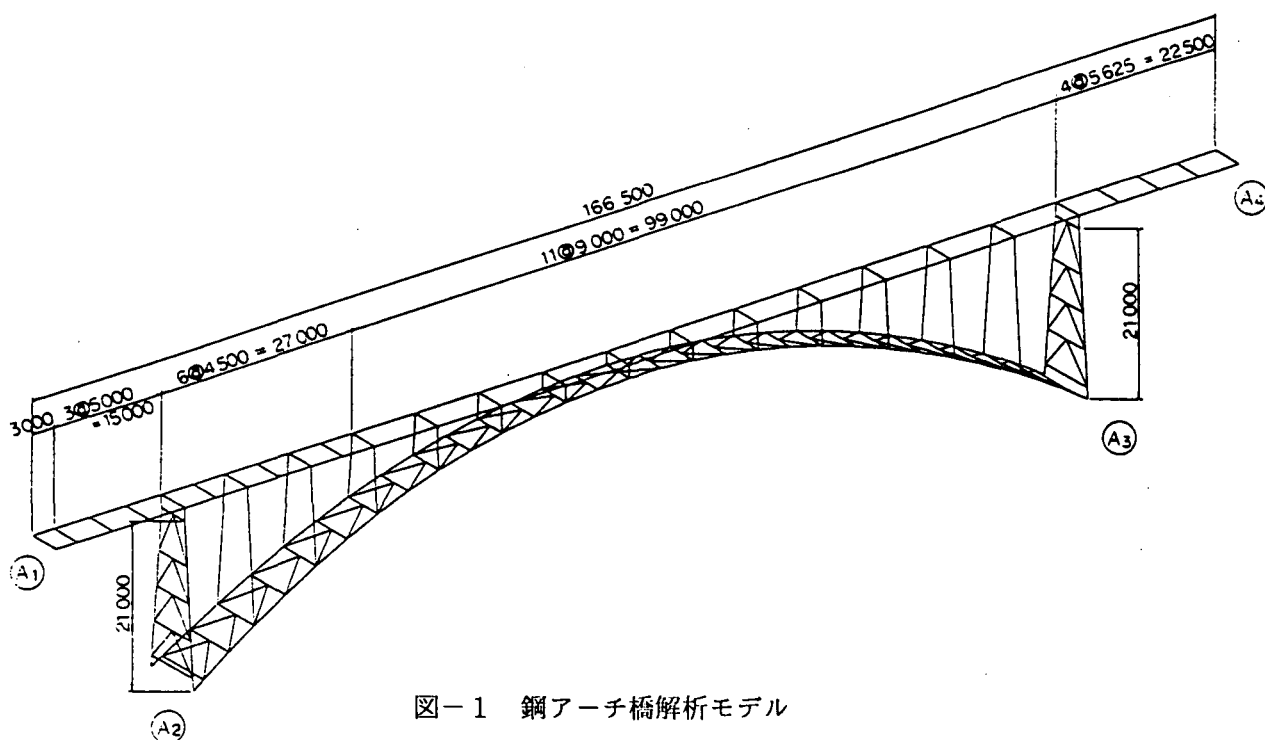


図-1 鋼アーチ橋解析モデル

KOBE KAIYO-KISHODAI N-S
MAX 817.825 GAL (t=9.52 sec)

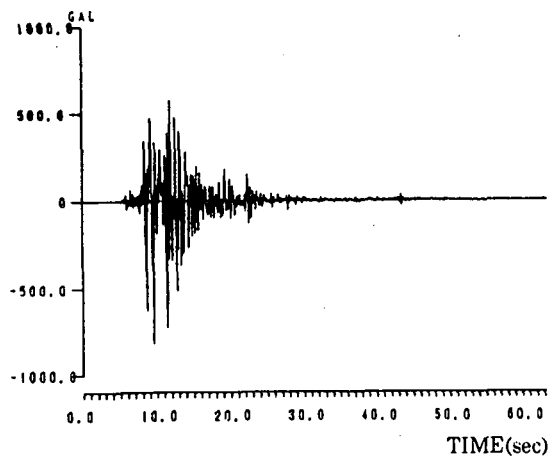


図-2 水平方向入力地震動

KOBE KAIYO-KISHODAI U-D
MAX 332.159 GAL (t=8.72 sec)

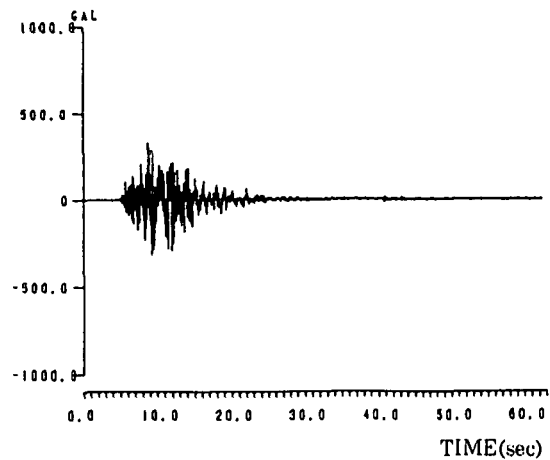


図-3 鉛直方向入力地震動

(4) 入力地震動

入力地震動は、次の兵庫県南部地震の観測記録とする。

神戸海洋気象台観測記録波

水平方向 (NS) $A_{max}=817.825 \text{ gal}$

鉛直方向 (UD) $A_{max}=332.159 \text{ gal}$

入力波形は、図-2と図-3のとおりである。

道路橋示方書の標準波形は、水平方向について提案されているが鉛直方向の波形はないため、実際の観測波である上記の波を使用する。

地震動の計算時間は、30秒間とする。

(5) 入力方向

地震動の入力方向は、橋軸方向と橋軸直角方向とする。

(6) 支承条件

補剛桁端のA1橋台部とA4橋台部の支承条件は、可動支承とした。

アーチ基部のA2橋台部とA3橋台部は、ピン支

承とし橋軸方向、直角方向の水平移動を固定、橋軸方向の回転を自由とした。

(6) 減衰

減衰定数は、鋼部材のため $h=0.02$ とした。

(7) 解析ケース

解析ケースは、表-1のとおりとする。

ケース1と2は橋軸方向に载荷した場合であり、ケース1は水平方向の波を入れた場合で、ケース2は水平と鉛直方向の波を同時に载荷した場合である。

ケース3と4は、同様に橋軸直角方向に载荷した場合である。

表-1 解析ケース

ケース	入力方向	入力地震動
1	橋軸方向	水平方向
2	"	水平方向+鉛直方向
3	橋軸直角方向	水平方向
4	"	水平方向+鉛直方向

表-2 固有値一覧表

モード 次数	周期 T(sec)	振動数 f (Hz)	刺激係数 β			有効質量比 (%)		
			橋軸方向	直角方向	鉛直方向	橋軸方向	直角方向	鉛直方向
1	2.275	0.440	6.70	-0.00	-0.07	23.4	0.0	0.0
2	1.237	0.809	-0.00	10.96	0.00	0.0	63.7	0.0
3	0.903	1.108	0.00	-0.01	0.88	0.0	0.0	0.4
4	0.706	1.415	-0.00	0.13	0.00	0.0	0.0	0.0
5	0.589	1.698	-3.08	-0.00	0.28	5.0	0.0	0.0
6	0.491	2.037	0.00	-4.09	-0.02	0.0	8.9	0.0
7	0.430	2.325	-0.12	-0.02	9.78	0.0	0.0	50.7
8	0.352	2.838	-0.32	-0.01	0.58	0.1	0.0	0.2
9	0.333	3.000	-0.00	-0.90	-0.00	0.0	0.4	0.0
10	0.317	3.158	-0.00	-2.37	0.11	0.0	3.0	0.0

3. 解析結果

(1) 固有値

アーチ橋の周期などの固有値は、表-2となる。
橋軸方向の主要モードは1次、橋軸直角方向は2次、鉛直方向は7次である。主要モードを図-4に

示す。

(2) 応答値

変位、加速度、断面力の最大応答値は、表-3のとおりととなった。

最大応答値は、補剛桁、アーチ部材、柱などの主

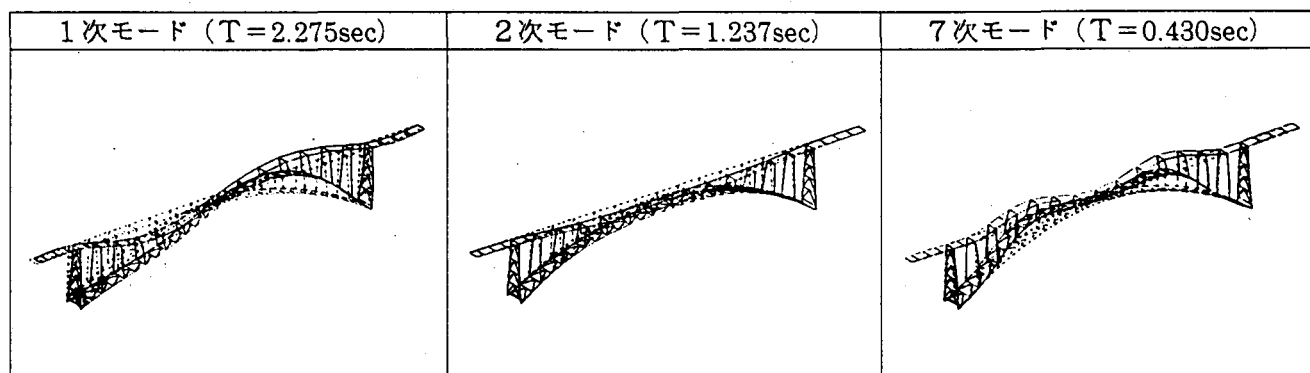


図-4 主要モード図

表-3 最大応答値の比較

項目	部位	方向	単位	橋軸方向			橋軸直角方向		
				ケース1 水平	ケース2 水平+鉛直	ケース2 /ケース1	ケース3 水平	ケース4 水平+鉛直	ケース4 /ケース3
変位	補剛桁	橋軸X	cm	9.8	9.7	0.99	0.5	0.6	1.20
		鉛直Y	"	24.3	28.8	1.19	7.3	8.8	1.21
		直角Z	"	0.1	0.1	1.00	58.5	58.5	1.00
	アーチ	橋軸X	cm	14.3	14.6	1.02	2.9	4.2	1.45
		鉛直Y	"	24.4	28.8	1.18	7.3	8.9	1.22
		直角Z	"	0.1	0.1	1.00	54.4	54.4	1.00
	中間柱	橋軸X	cm	13.4	13.2	0.99	3.5	4.9	1.40
		鉛直Y	"	24.3	28.8	1.19	7.3	8.8	1.21
		直角Z	"	9.0	7.8	0.87	57.1	57.1	1.00
加速度	補剛桁	橋軸X	gal	1426.0	1424.0	1.00	108.0	217.0	2.01
		鉛直Y	"	1380.0	2028.0	1.47	982.0	2051.0	2.09
		直角Z	"	28.0	26.0	0.93	2212.0	2211.0	1.00
	アーチ	橋軸X	gal	1041.0	1066.0	1.02	387.0	755.0	1.95
		鉛直Y	"	1331.0	2020.0	1.52	890.0	1775.0	1.99
		直角Z	"	42.0	40.0	0.95	2203.0	2200.0	1.00
	中間柱	橋軸X	gal	6347.0	6211.0	0.98	1578.0	2483.0	1.57
		鉛直Y	"	1380.0	2028.0	1.47	982.0	1761.0	1.79
		直角Z	"	5983.0	5357.0	0.90	3131.0	4495.0	1.44
断面力	補剛桁	軸力 N	tf	413.3	409.9	0.99	47.9	69.8	1.46
		せん断 S	"	49.7	67.2	1.35	153.6	153.7	1.00
		曲げ M	tfm	333.0	444.1	1.33	1689.5	1689.1	1.00
	アーチ	軸力 N	tf	613.2	756.9	1.23	2363.1	2575.5	1.09
		せん断 S	"	63.7	66.2	1.04	143.5	143.4	1.00
		曲げ M	tfm	391.0	499.0	1.28	417.9	417.6	1.00
	中間柱	軸力 N	tf	44.9	55.3	1.23	87.4	95.6	1.09
		せん断 S	"	6.1	5.6	0.92	3.0	3.9	1.30
		曲げ M	tfm	26.0	25.5	0.98	17.8	23.4	1.31
	端柱	軸力 N	tf	80.1	119.5	1.49	1286.3	1310.1	1.02
		せん断 S	"	13.1	15.8	1.21	207.9	208.9	1.00
		曲げ M	tfm	200.3	228.4	1.14	354.9	355.5	1.00

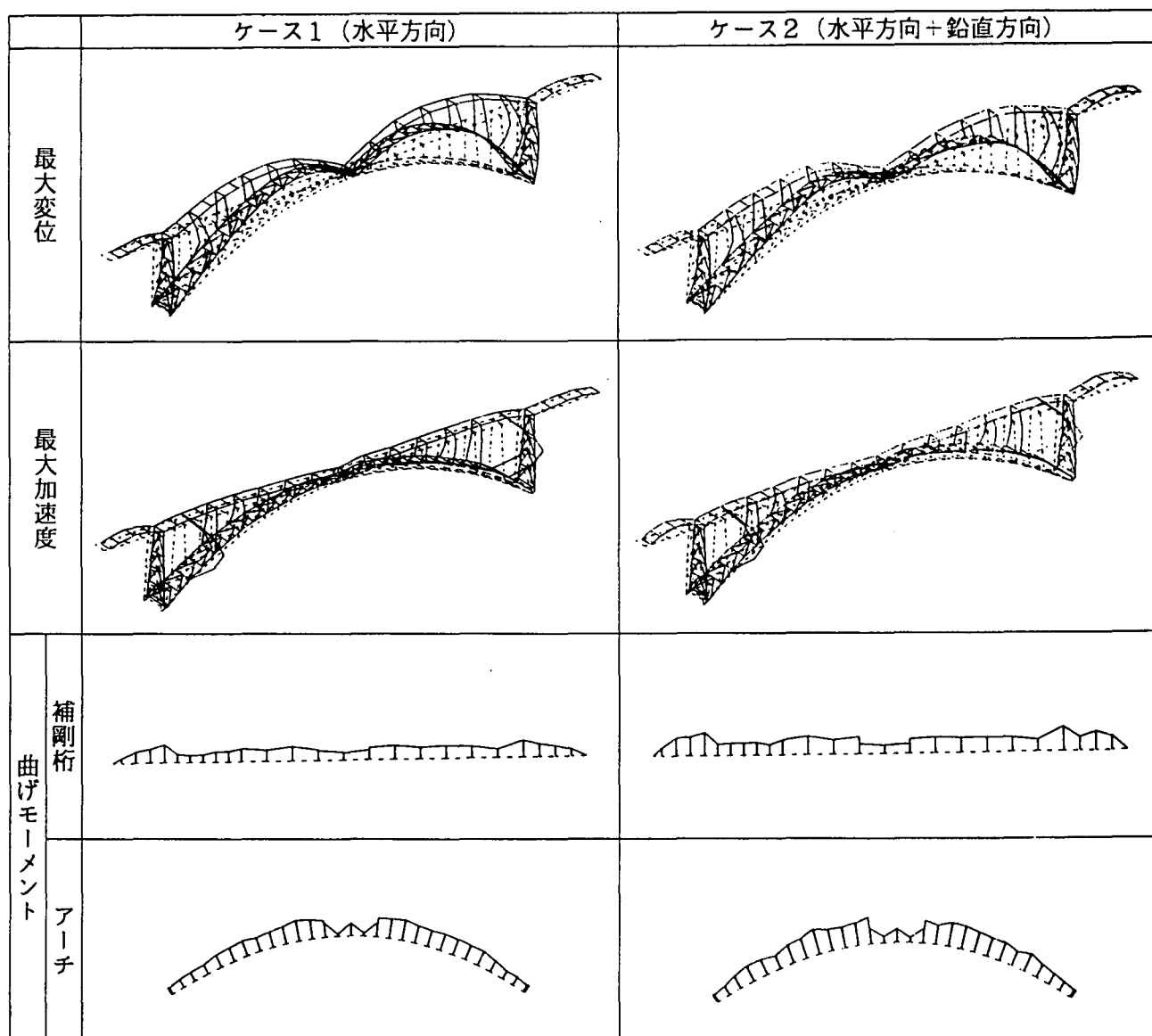


図-5 最大応答分布図 (橋軸方向)

要部材について示した。

表-3には鉛直地震動による応答値の増減を表すため、ケース1に対するケース2の応答値の比率とケース3に対するケース4の比率を併記した。

橋軸方向入力の場合の応答値は、鉛直地震動を考慮すると次のとおりとなる。

変位は橋軸方向に1.0倍程度、鉛直方向に1.2倍ほど増加した。加速度は橋軸方向が1.0倍、鉛直方向が約1.5倍の増加である。

断面力は、補剛桁のせん断力と曲げモーメントが1.3倍程度、端部の柱の軸力が1.5倍となる他は、1.0～1.2倍程度となった。

橋軸方向入力の場合の応答値の分布を、図-5に示す。

変位と加速度の鉛直地震動の有無による分布状況は大差ないことがわかる。

補剛桁とアーチ部材の曲げモーメントは、両者の分布形状に多少の差が認められるが全体としての傾

向は似ている。

橋軸直角方向に入力した場合の応答値は、表-3より次のとおりとなる。

直角方向の変位は、鉛直地震動の有無により変わらない。加速度は、橋軸方向と鉛直方向に1.5～2.0倍だが、直角方向には1.0～1.4倍である。

断面力は、1.0～1.5倍程度だが、主要な断面力は1.0程度である。

4. あとがき

鉛直地震動を考慮することによる応答値の増加が1.5倍以下となることより、アーチ橋への鉛直地震動の影響は比較的少ないことがわかった。

なお、本報告は(財)土木研究センター内に設置された耐震ソフトウェアに関する研究委員会(座長：川島一彦東京工業大学教授)の御指導を受けて現在検討中の内容の一部である。