

3 成分地震動を受ける曲線箱桁の地震応答解析

信州大学大学院 学生会員 ○田辺 良太
 信州大学工学部 正会員 清水 茂

1. はじめに

現行の道路橋示方書V耐震設計編¹⁾(以下道示V)では、レベル2地震動の設計震度として、兵庫県南部地震を基本に設計するように定めている。ところが、2004年に発生した新潟県中越地震は兵庫県南部地震の2倍以上の最大加速度を観測しており、地震そのものの大きさとしては新潟県中越地震の方が大きい。このことを考えると、現行の道示Vに規定されている兵庫県南部地震を前提にした設計方法を見直す必要があると思われる。また、道示Vでは橋梁上部構造を耐震設計する際の規定として、鉛直方向の地震力に関しては、上部構造の耐震性に与える影響は少ないため考慮しなくてよいとされている。しかし、実際の地震波は3方向の成分を有しているため、曲線橋の3次元的な挙動を照査するには、これら3成分の連成を考慮した解析をする必要があると考えられる。

また、これまでに行われた研究の中でも、曲線橋上部構造の地震時挙動について取り扱った例は少ない。そこで本研究では曲線箱桁上部構造に着目して立体的にモデル化を行い、表-1のような複数の地震波を用いて地震時挙動を検討した。

表-1 入力地震波

	NS	EW	UD
神戸海洋気象台	820.6	619.2	333.3
新潟県川口町川口	1141.9	1675.8	869.6
新潟県山古志村竹沢	538.4	721.8	1059.1
新潟県出雲崎町米田	614.7	494.0	253.9

2. 解析モデル

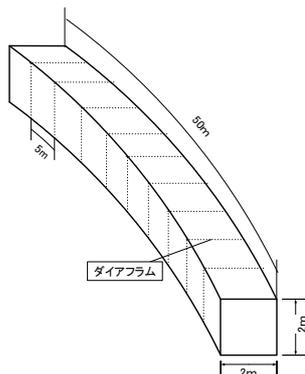


図-1 解析モデル

表-2 モデル寸法及び材料特性値

板厚[mm]	10
断面幅[mm]	2000
スパン長さ[mm]	50000
ヤング係数[GPa]	200
ポアソン比	0.3
密度[t/mm ³]	7.848×10 ⁻⁹

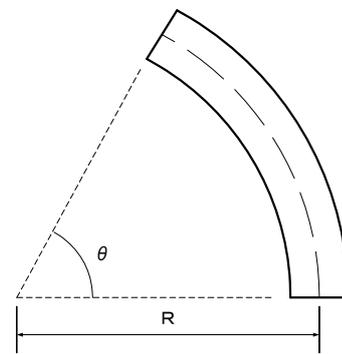


図-2 曲率の変化

表-3 曲率半径と中心

曲率半径R [mm]	中心角 θ
50000	57.296
100000	28.648
150000	19.099
∞	-

本研究では、既存の橋梁を参考に一般的なモデル寸法を取り上げ、上部構造の一径間を解析対象とする。解析モデルの立体形状を図-1に、寸法及び材料特性値を表-2に示す。解析モデルはスパンを50m一定としてダイアフラムを5m間隔で配置した。また曲率半径Rを ∞ (直線)、150m、100m、50mと変化させている(図-2、表-3)。箱桁は全て鋼を仮定し、ヤング率は $2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比は0.3とした。境界条件は、下フランジ両端で全方向変位拘束、ねじり回転拘束とした。入力地震動として、表-1に示した地震観測記録3成分を用い、これらを慣性力として入力した。地震応答解析の解法としてNewmark β 法を適用する。解析を実行するにあたり、汎用FEM解析プログラムMARCを使用した。さらに材料非線形領域に関してはバイリニアモデルを用いる。

3. 固有値解析

表-4 固有値解析結果

		曲率半径			
		∞	150	100	50
1次	固有円振動数 [rad/sec]	11.859	9.748	8.960	7.244
	固有周期 [sec]	0.530	0.645	0.701	0.867
2次	固有円振動数 [rad/sec]	14.796	20.297	24.309	28.237
	固有周期 [sec]	0.425	0.310	0.258	0.223
3次	固有円振動数 [rad/sec]	26.452	27.688	29.043	32.796
	固有周期 [sec]	0.238	0.227	0.216	0.192
4次	固有円振動数 [rad/sec]	29.308	29.218	29.101	33.940
	固有周期 [sec]	0.214	0.215	0.216	0.185
レイリー減衰	α	0.263	0.263	0.262	0.231
	β	1.501E-03	1.331E-03	1.202E-03	1.127E-03

本研究では、減衰定数を求めるための予備解析として、固有値解析を行った。その結果を表-4に示す。これより、1次モードに着目すると曲率半径が小さくなるとともに振動数が小さくなっていることがわかる。逆に2次モードでは曲率半径が小さくなるとともに振動数が大きくなっていることがわかる。

4. 時刻歴応答解析

ここでは、新潟県川口町川口の観測結果を用いて解析した結果を示す。図-3は桁中央のダイヤフラム中心節点での応答履歴に与える曲率の影響を示したものである。これより、曲率半径が小さくなるとともに振幅が大きくなっていくことがわかる。

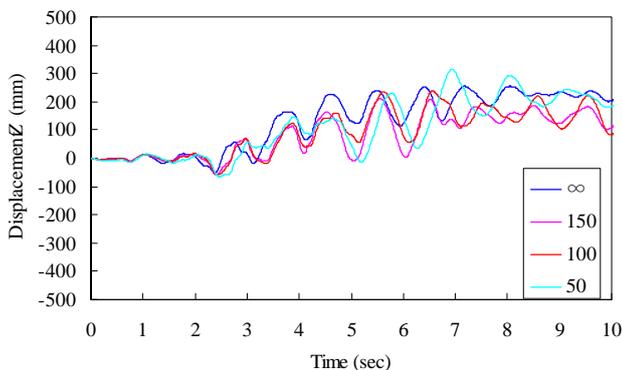


図-3 桁中央における鉛直変位履歴

次にUD成分の有無が桁の鉛直変位に与える影響を考察する。図-4は曲率半径 $R=\infty$ のモデルにおける箱桁中央の鉛直変位履歴にUD成分が与える影響を示したものである。これより最大変位を比較すると、3方向入力で264mm、2方向で137mmを示しており、UD成分を考慮することで、鉛直変位が約1.6倍になっていることがわかる。また、図-5の解析終了時刻での残留ひずみを比較してみると、3方向で0.0112、2方向で0.0067を示しており、表-5の残留ひずみの損傷レベル指標に照らし合わせると、損傷レベルに違いが生じることがわかる。このことから、従来の地震波を水平2方向のみを作用させて耐震設計を行うと、耐震性能を過大に評価する可能性がある。

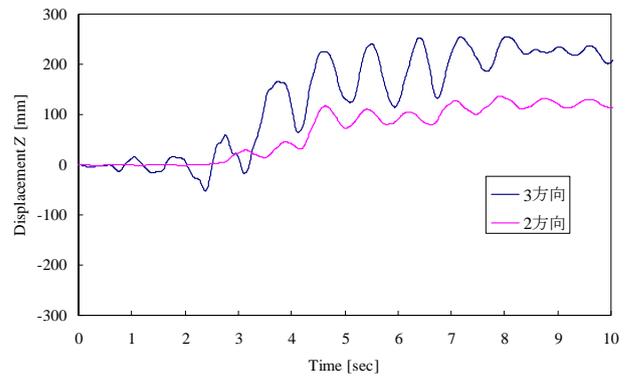


図-4 鉛直変位履歴にあたるUD成分の影響 ($R=\infty$)

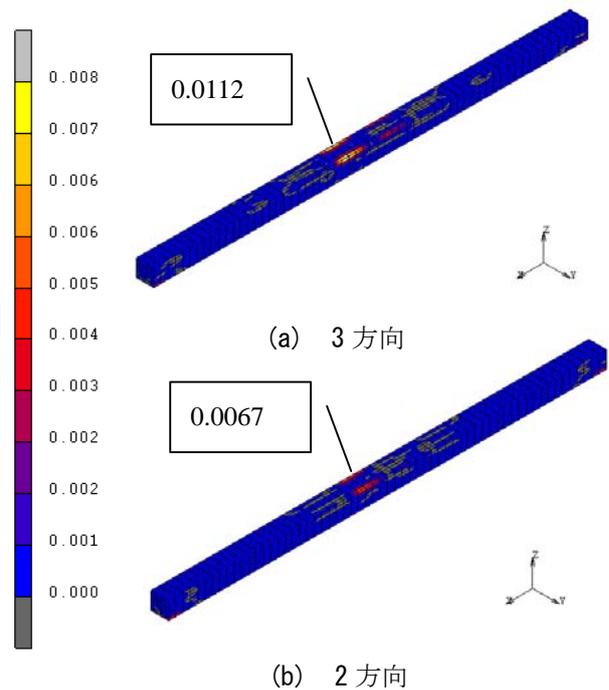


図-5 残留ひずみ分布図

表-5 残留ひずみ指標⁴⁾

損傷レベル	鋼のひずみ	
1 微小	$\text{Max}(0.003, 1.5\varepsilon_y)$	0.003
2 補修可能	$\text{Max}(0.008, 2\varepsilon_{st}/3)$	0.008
3 重大	ε_{st}	0.011

ε_{st} :ひずみ硬化開始点ひずみ ε_y :降伏ひずみ

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説V 耐震設計編：社団法人日本道路協会 2002
- 2) MSC. MARC2003 オンラインマニュアル：MSC ソフトウェア
- 3) 橋梁システムの動的解析と耐震性：(社)土木学会・(社)日本鋼構造協会 2000年4月
- 4) 鋼構造物の耐震解析用ベンチマークと耐震設計法の高度化：(社)土木学会・(社)日本鋼構造協会 2000年4月