振動実験に基づく PC 斜張橋の地震応答解析モデルに関する検討

大日本コンサルタント(株)　○正会員　王　　毅　　土木研究所 寒地土木研究所　正会員　岡田　慎哉
土木研究所 寒地土木研究所　正会員　西　弘明　　土木研究所 寒地土木研究所　正会員　佐藤　京
大日本コンサルタント(株)　正会員　原田　政彦

1. はじめに

近年の道路橋耐震設計では、地震応答解析による動的解析照査法が主流となっており、如何に精度良い解析モデルを構築するのかが重要な課題となっている。しかし、実際の地震時挙動との比較から解析精度を検証した事例は比較的に少ない。本検討は、強制加振実験により得られた固有振動特性に基づいて、設計実務で一般的な立体骨組モデルを構築し、2003 年十勝沖地震で得られた強震記録を用いた動的解析により構築したモデルの妥当性を検討したものである。

2. 十勝大橋の概要

十勝大橋は**図-1** に示す橋長 501m、中央径間 251m の PC 斜張橋で、主塔は RC 独立 1 本柱形式、主桁は 4 室箱桁である。十勝大橋の主要諸元を**表-1** に示す。

3. 解析モデル

解析モデルは**図-2** に示す立体骨組モデルとした。主塔及び橋台の基部において地盤バネで基礎～地盤系を SR バネでモデル化した。主桁の支承条件は橋軸方向を可動、橋軸直角方向及び鉛直方向を固定とした。主桁及び主塔はコンクリート総断面の剛性を有する線形梁要素、ケーブルは引張力にのみ抵抗する弦要素でモデル化した。

4. 固有値解析結果と強制加振実験結果の比較

上述のようなモデル化を基本に**表-2** に示す境界条件などのパラメータを変化させ、計 5 ケースの固有値解析を行い、強制加振実験及び過年度に実施された FEM 解析の結果との比較から 3 次元骨組モデルの精度検証を行った。

主要な固有振動数の比較結果を**表-2** 及び**図-3** に示す。橋脚、橋台基部及び支承においては全点固定としたケース 4 が最も一致しており、曲げ逆対称 1 次及び曲げ対称 2 次を除いて、誤差が 9%以内となる。**図-3** に示す振動モードの比較においても実験結果と良く一致している。

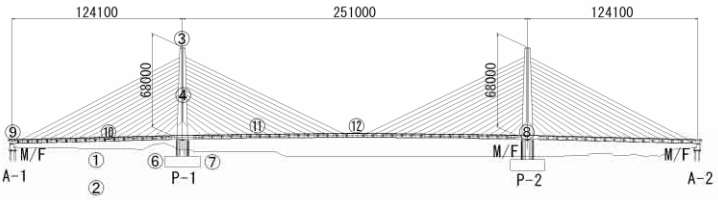


図-1 十勝大橋一般図と強震観測点

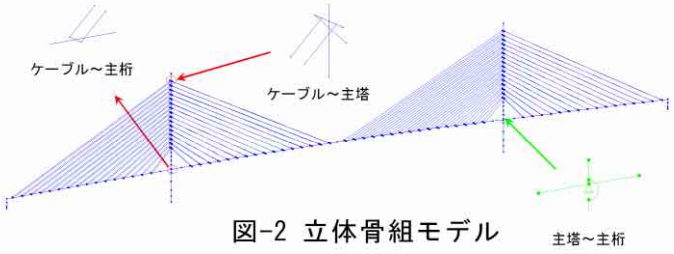


図-2 立体骨組モデル

表-1 十勝大橋の主要諸元

項目	緒元
橋梁形式	3径間連続PC斜張橋（124.1m+251m+124.1m）
幅員	32.8m
主塔	RC独立1本柱
主桁	4室箱桁
ケーブル形式	1面吊セミハープ型
上部構造支持形式	主塔～橋脚固定 主塔～主桁：橋軸方向可動、橋軸直角方向固定
基礎	主塔：直接基礎 橋台：場所打ち杭
地盤条件	II種地盤

表-2 検討ケースと主要な固有振動数の比較

解析条件			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
パラメータ	境界条件	基礎～地盤系	バネ	固定	固定	固定	固定
		橋軸方向支承条件	全点可動	全点可動	全点可動	全点固定	全点固定
	解析手法		微小変位	微小変位	微小変位	微小変位	有限変位
	部材断面剛性		鉄筋考慮せず	鉄筋考慮せず	鉄筋考慮	鉄筋考慮	鉄筋考慮
	ケーブルモデル		1分割	1分割	1分割	1分割	8分割

振動モード	実験結果平均値	FEM※解析結果	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
曲げ対称1次	0.439	0.429	0.349	0.364	0.380	0.404	0.403
		(0.98)	(0.79)	(0.83)	(0.87)	(0.92)	(0.92)
曲げ逆対称1次	0.683	0.638	0.671	0.727	0.766	0.594	0.590
		(0.93)	(0.98)	(1.06)	(1.12)	(0.87)	(0.86)
曲げ対称2次	1.3055	1.244	1.061	1.074	1.146	1.162	-
		(0.95)	(0.81)	(0.82)	(0.88)	(0.89)	
曲げ逆対称2次	2.075	-	1.698	1.703	1.888	1.888	-
			0.818	0.821	0.910	0.910	
曲げ対称3次	2.6365	2.482	2.161	2.169	2.393	2.394	-
		(0.94)	(0.82)	(0.82)	(0.91)	(0.91)	
ねじれ対称1次	0.976	0.877	0.819	0.822	0.879	0.879	0.880
		(0.90)	(0.84)	(0.84)	(0.90)	(0.90)	(0.90)

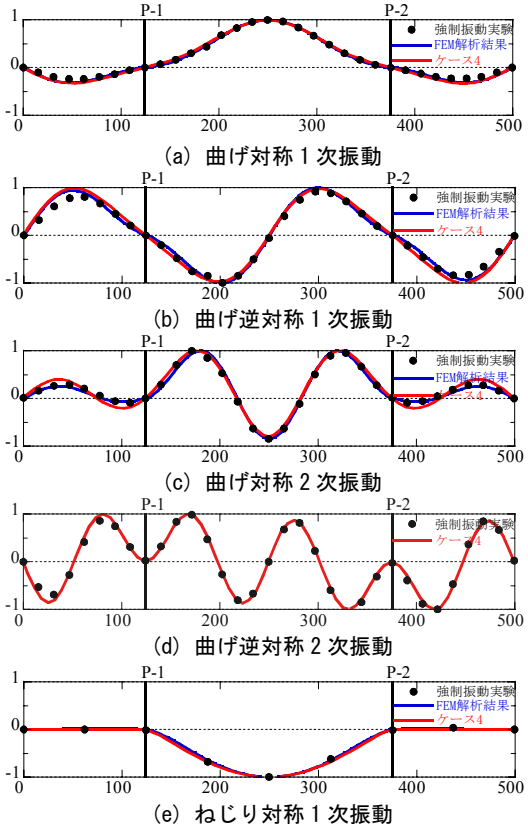
※　() 内は実験値に対する比率を示す。
※ 過年度に実施されているFEM解析値を比較のため併記する。

キーワード　2003 年十勝沖地震、強震記録、地震応答解析、耐震性能照査
連絡先：〒343-0851 埼玉県越谷市七左町 5-1 大日本コンサルタント(株)構造事業部 TEL 048-988-8113 FAX 048-988-8134

5. 地震応答解析結果と強震記録の比較

2003 年十勝沖地震において、地表面下 1m（**図-1** の①点）で得られた水平 2 方向の強震記録を入力地震波として地震応答解析を行った。強制加振実験に比べて大振幅の水平振動である地震時では、支承条件や地盤条件は設計で想定した状態に近いと考えられることから、最適モデルケース 4 に対して橋軸方向の支承条件を全点可動に、地盤条件を弾性支持に変更した骨組モデルを用いた。また、地震応答解析における減衰は卓越する 2 つの振動モードのモード減衰を 10%として設定した Rayleigh 減衰を用いた。

解析結果と強震記録との応答加速度の比較したものを**図-4** に示す。中央径間中央の桁の応答加速度は、橋軸方向加振では実測値と良く一致しているが、橋軸直角方向では卓越振動数に差異が見られる。主塔天端の応答加速度では、橋軸直角方向加振において 60 秒以上の加速度波形が実測値と大きく異なり、実測では減衰せずに自由振動している。また、橋脚天端の応答加速度では、1Hz 前後で卓越がある実測値に対して解析では 3～5Hz が卓越している。



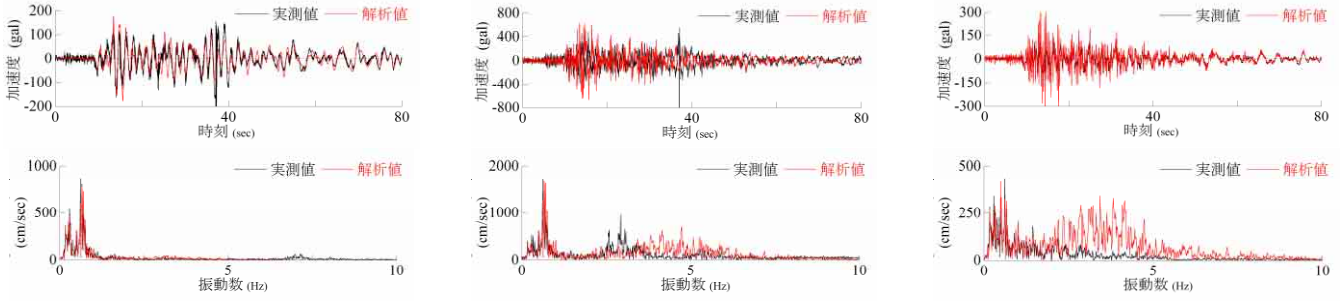
(a) 曲げ対称 1 次振動
(b) 曲げ逆対称 1 次振動
(c) 曲げ対称 2 次振動
(d) 曲げ逆対称 2 次振動
(e) ねじり対称 1 次振動

図-3 振動モード形状の比較

以上のとおり、今回の骨組モデルによる地震応答解析では実測値と差異が大きく、地震時の実挙動を捉えていない。今後、コンクリート部材の非線形特性や境界条件に着目して、さらに検討を行う予定である。

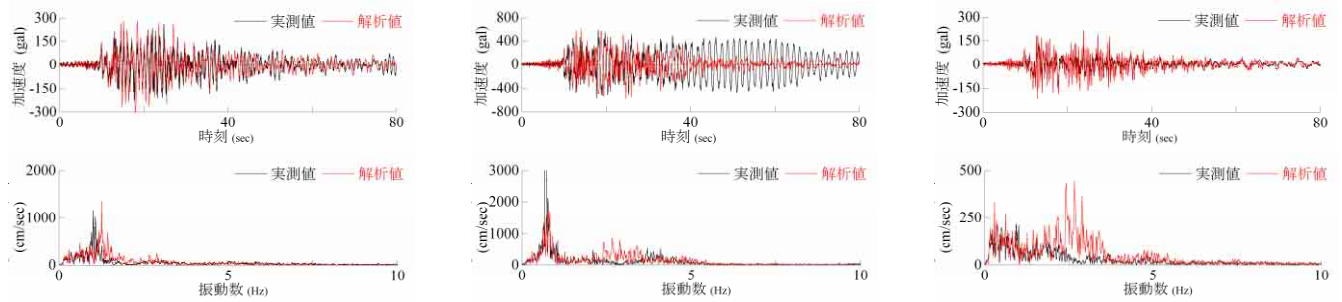
【参考文献】

1) 荻本英典，川島一彦，渡辺学歩：強震記録に基づく十勝大橋の地震応答特性，第 9 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集， pp. 163-170, 2006. 2.



(a) 中央径間中央の桁の応答加速度波形とフーリエスペクトル
(b) P1 主塔天端の応答加速度波形とフーリエスペクトル
(c) P1 橋脚天端の応答加速度波形とフーリエスペクトル

(1) 橋軸方向



(a) 中央径間中央の応答加速度波形とフーリエスペクトル
(b) P1 主塔天端の応答加速度波形とフーリエスペクトル
(c) P1 橋脚天端の応答加速度波形とフーリエスペクトル

(2) 橋軸直角方向

図-4 解析結果と強震記録との応答加速度の比較