

支承特性を考慮した多径間連続高架橋の地震時応答解析

名古屋工業大学 学生会員 ○松井 宏樹
 名古屋工業大学 正会員 富 健一
 名古屋工業大学 正会員 糸山 豊
 名古屋工業大学 フェロー会員 梅原 秀哲

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震では、単純桁の落橋、鋼製支承の損傷が顕著であったため、近年において道路橋設計を行う際には、可能な限り連続化を図るとともに、ゴム支承を用いることにより地震時水平力を分散させているので、構造物は長周期化する傾向にある。

一方、長周期成分が卓越していた十勝沖地震では、タンク内の石油がスロッシング現象（液面揺動）を起こして火災が発生する被害や、比較的固有周期の長い十勝河口橋や千代田大橋等の長大橋が損傷したことが報告されている。

近年は、連続径間数の増加により、様々な固有振動数を有する橋梁が建設されており、構造物の固有周期と地盤条件を考慮した地震動との関係を明らかにし、長周期成分が卓越する東海地震や東南海地震が発生した場合の連続高架橋の挙動を確認しておくことは非常に重要である。

そこで本研究では、道路橋示方書²⁾（以下、道示と記す）により設計されたRC橋脚を有する多径間連続コンクリート橋に対して、今後発生すると思われる想定地震動（東海、東南海、東海東南海複合）、及び、近年発生した大地震（兵庫県南部地震、十勝沖地震、三陸沖地震）の地盤特性を考慮した地表面地震波、及び、道示の模擬地震動を用いて動的応答解析を実施し、支承条件の違いによる地震動とRC橋脚の応答値の関係や、卓越周期の異なる各地震動と構造物の地震挙動の関係について考察する。

2. 対象高架橋および解析手法

(1) 対象高架橋

本研究で解析対象とした高架橋の橋梁一般図を図-1に示す。解析対象は、5径間連続非合成鋼鈑桁橋で、逆T式橋

台（杭基礎）、張出式矩形橋脚（杭基礎）より構成される。解析対象とした高架橋の形状や橋脚の配筋量、ゴム支承特性は、道示に基づいて設計計算を行い決定した。支承条件は一般的に用いられている固定・可動支承（鋼製支承）（以下、支承条件Aと記す）及び水平反力分散ゴム支承（以下、支承条件Bと記す）とした。

(2) 解析手法

解析手法として材料非線形性を考慮した立体骨組みモデルによる3次元非線形動的解析法を用いた。

塑性化すると思われる柱部は、図-2に示すようにファイバーモデルで、橋台堅壁部、橋脚梁部、及び、フーチングは弾性梁要素でモデル化した。杭基礎は地盤特性を考慮した連成バネでモデル化し、地盤変形の影響も考慮した。ファイバー要素には、コンクリートおよび鉄筋の材料非線形履歴モデルを考慮した。鉄筋およびコンクリートの材料非線形モデルとして、東京大学コンクリート研究室で開発された鉄筋コンクリートの構成則³⁾であるCOM3モデルを用いた。水平反力分散支承は線形モデルであり、減衰定数は、道路橋支承便覧⁴⁾より3%とした。

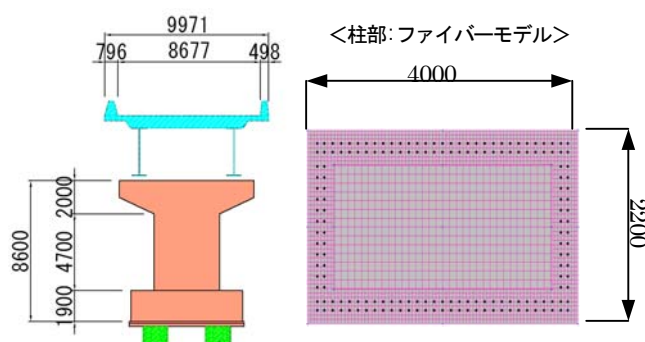


図-2 橋脚における柱部のモデル化

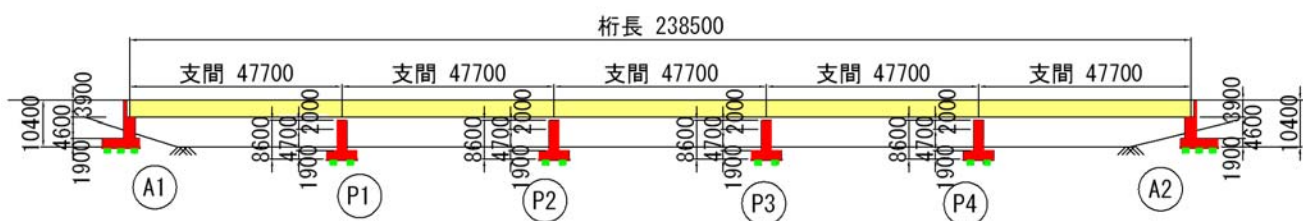


図-1 橋梁一般図

3. 入力地震動

本研究で用いた地震動加速度的概要を表1に示す。地表面相当の入力地震動加速度は、それぞれ工学的基盤面の地震動加速度を推定し、名古屋中心部の軟弱な地盤条件を考慮した地震応答解析⁹⁾を行うことにより求めた⁶⁾。なお、①～⑥地震動は基盤面での断層方向とその直角方向の成分から地表面の加速度を算出したため、水平2方向を同時入力して解析を行った。⑦～⑫地震動である道示の模擬地震動は、橋軸・直角の2方向に対してそれぞれ解析を実施した。

4. 解析結果と考察

本研究では、RC橋脚の応答に関して、支承特性による影響、及び、地震動の卓越周期の影響について考察する。

(1) 高架橋の支承特性による応答値への影響

最大加速度が橋軸方向でほぼ同じの③地震動と⑥地震動に対して、P2橋脚の柱基部の応答値の比較を表2に示す。支承条件Aの場合は⑥地震動の方が大きな応答値となったが、支承条件Bの場合は③地震動の方が大きな応答値となった。これは、支承条件Aの場合の固有周期が⑥地震動の卓越周期と近似し、支承条件Bの場合の固有周期が③地震動の卓越周期と近似したため、共振作用により応答値が大きくなったと考えられる。

(2) 地震動の卓越周期による応答値への影響

支承条件Bの場合の④地震動と⑪地震動の解析結果比較表を表3に示す。最大加速度は⑪地震動のほうが④地震動より1割程度大きい、コンクリートの最大ひずみは④地震動の方が大きくなった。これは、支承条件Bの場合の固有周期が④地震動の卓越周期と近似すること、④地震動は2方向地震動が作用されているので2軸曲げの影響により最大コンクリートひずみが大きくなったと考えられる。

5. まとめ

現在の道示で設計された多径間連続橋に対して、今後想定される大地震や近年発生した大地震を作用させた動的解析を実施し、支承特性により構造物の振動特性が異なるの

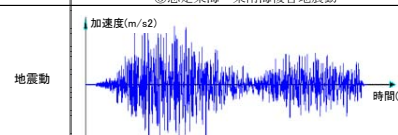
で同程度の地震波が作用した場合でも応答値の傾向が異なること、地震動の卓越周期と橋の固有周期が近似していると大きな応答値となることが明らかとなった。

今後は、長周期地震動が作用した際に、地震動の卓越周期や最大加速度、支承条件の違いにより多径間連続高架協のRC橋脚の応答にどのような影響があるかを検証していく必要があると考えている。

<参考文献>

1) 土木学会：2003年に発生した地震によるコンクリート構造物の被害分析
2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅴ，1996.12.
3) 岡村甫，前川宏一，鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991.5
4) 日本道路協会：道路橋支承便覧，2004.4
5) 杉戸真太ほか：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集 No.493/III-27，pp.49-58，1994.6
6) 富ほか：長周期地震動が作用した場合の多径間連続高架橋の地震時応答解析，土木学会中部支部研究発表会，I-27，pp.53-54，2007.3

表2 解析結果一覧表（③地震動・⑥地震動）

③想定東海・東南海複合地震動			
			
応答値 (P2橋脚)	支承条件A	支承条件B	
最大加速度 (gal)	255		
地震動の卓越周期 (sec)	0.787		
橋の卓越周期 (sec)	0.606	0.746	
天端接点における最大応答変位 (mm)	12.9	24.5	
柱基部のせん断力 (kN)	2741	4623	
コンクリートの最大ひずみ	474	925	

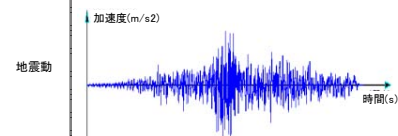
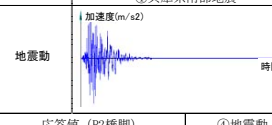
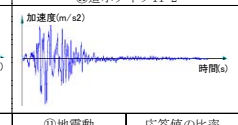
⑥十勝沖地震			
			
応答値 (P2橋脚)	支承条件A	支承条件B	
最大加速度 (gal)	258		
地震動の卓越周期 (sec)	0.593		
橋の卓越周期 (sec)	0.606	0.746	
天端接点における最大応答変位 (mm)	16.5	16.7	
柱基部のせん断力 (kN)	3366	3282	
コンクリートの最大ひずみ	625	651	

表3 解析結果比較表（④地震動・⑦地震動）

④兵庫県南部地震		⑦道示タイプ11-2	
			
応答値 (P2橋脚)	④地震動	⑦地震動	応答値の比率
最大加速度 (gal)	511	557	1.09
地震動の卓越周期 (sec)	0.881	1.667	—
橋の卓越周期 (sec)	0.746	0.746	—
天端接点における最大応答変位 (mm)	60.4	101.5	1.68
柱基部の最大せん断力 (kN)	7832	8876	1.13
コンクリートの最大ひずみ	4565	3987	0.87

地震名	発生日	最大加速度 (gal)		卓越周期 (sec)	
		LG	TR	LG	TR
①想定東海地震		184	184	0.787	0.787
②想定東南海地震		252	252	0.872	0.872
③東海・東南海複合地震		255	255	0.787	0.787
④兵庫県南部地震	1995/1/15	511	406	0.881	0.688
⑤三陸南地震	2003/5/26	299	320	0.450	1.389
⑥十勝沖地震	2003/9/26	258	327	0.593	0.394
道路橋示方書	⑦タイプⅠ-1	433	433	1.764	1.764
	⑧タイプⅠ-2	424	424	1.621	1.621
	⑨タイプⅠ-3	439	439	2.141	2.141
	⑩タイプⅡ-1	591	591	2.000	2.000
	⑪タイプⅡ-2	557	557	1.667	1.667
	⑫タイプⅡ-3	619	619	1.667	1.667