

# 高橋脚を有する多径間連続高架橋の地震時応答と地震動の振動特性に関する研究

名古屋工業大学 学生会員 ○近藤 俊行  
 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 正会員 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。

したがって、構造物の固有周期と地震動との関係を明らかにし、長周期成分が卓越すると予想される東海地震や東南海地震が発生した場合の挙動を確認しておくことは非常に重要である。

本研究では、道路橋示方書<sup>2)</sup>（以下、道示と記す）により設計された高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、卓越周期の異なる各地震動と高橋脚を有する連続高架橋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PC鋼箱桁橋で、逆T式橋台（杭基礎）、張出式中空橋脚（深礎杭基礎）より構成される。解析対象とした高架橋の形状や配筋量、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

用いられている水平反力分散ゴム支承とした。

### (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COM3モデル<sup>3)</sup>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<sup>4)</sup>より3%とした。

### 3. 入力地震動

本研究で用いた地震動加速度の概要を表-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<sup>5)</sup>を行うことにより求めた<sup>6)</sup>。なお、1~6地震動は基盤面での断層方向と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

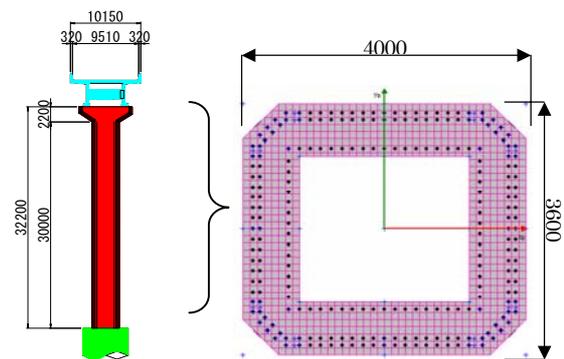


図-2 橋脚における柱部のモデル化

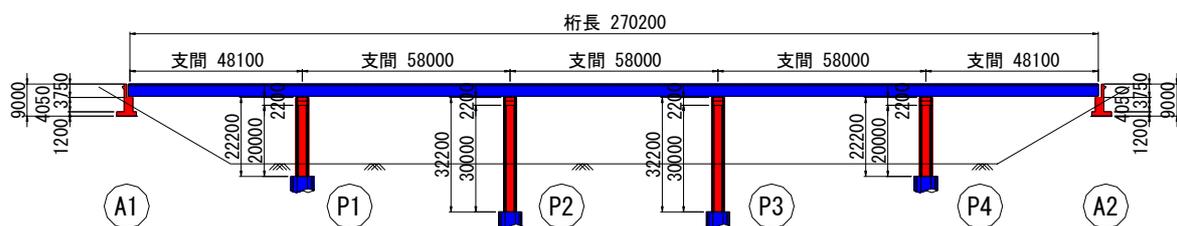


図-1 橋梁一般図

析を行った。7~12地震動である道示の模擬地震動は、橋軸・直角方向に対しそれぞれ解析を実施した。

4. 解析結果と考察

本研究では、高橋脚を有する多径間連続橋に対して、地震動の卓越周期と地震時挙動との関係について考察する。

P2橋脚の橋軸方向の解析結果を表-2に示す。④地震動と⑦地震動の応答結果比較表を表-3に示すが、最大加速度では道示のタイプI地震動より大きい④地震動の応答値は、すべてのタイプI地震動より応答値が小さくなった。これは、対象高架橋の固有周期は橋軸方向で1.735secであり、道示タイプI地震動の卓越周期と近似するために応答値が大きくなったと考えられる。

また、⑧地震動と⑪地震動の応答結果比較表を表-4に示すが、最大加速度が橋軸方向で3割程度大きい⑪地震動よりも⑧地震動の方が応答値が大きくなった。⑧地震動と⑪地震動の卓越周期はほぼ同じのため同様に共振現象が発生していると考えられるが、最大加速度が小さい⑧地震動のほうが応答値が大きくなるのは地震動の種類が関係していると思われる。すなわち、両地震動が作用した場合にはコンクリートの終局ひずみを超えており橋脚自体が降伏状態となり応答変位が増大し、高架橋としての固有周期が長くなっているため、大きな地震動が長い時間で発生する海洋型地震動、すなわち、長周期地震動での応答値が大きくなったものと考えられる。

表-1 解析地震動一覧表

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
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

表-2 解析結果一覧表 (P2橋脚・橋軸方向)

P2橋脚の解析結果	LG	TR	水平反力分散ゴム支承		
			最大変位 (mm)	最大せん断力 (kN)	最大コンクリートひずみ (μ)
限界値(参考)	-	-	-	13500	2180
①想定東海地震	184	184	40.1	1562.5	281.5
②想定東南海地震	252	252	58.9	243.2	522.9
③東海・東南海複合地震	255	255	59.3	2361.0	527.7
④兵庫県南部地震	511	406	237.6	6352.8	1268.1
⑤三陸南地震	299	320	105.5	2940.9	520.8
⑥十勝沖地震	258	327	86.6	2423.4	523.6
⑦タイプI-1	433	433	505.2	11015.5	3284.1
⑧タイプI-2	424	424	655.8	11649.5	5581.1
⑨タイプI-3	439	439	441.0	11350.8	2572.5
⑩タイプII-1	591	591	535.9	11722.7	4164.4
⑪タイプII-2	557	557	646.2	11503.3	5301.5
⑫タイプII-3	619	619	603.0	11811.1	4837.3

5. まとめ

現在の道示で設計された高橋脚を有する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た。その結果、高橋脚であることから固有周期が長いので、卓越周期が長い地震動に対して応答値が大きくなること、卓越周期の長い地震動の中でも、地震の種類によって応答値が大きく異なる傾向にあ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、地震動の震動特性とRC橋脚の地震時挙動の関係について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, 平成8年12月
- 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-3 解析結果比較表 (④地震動・⑦地震動)

地震動	④兵庫県南部地震		⑦道示タイプI-1		
	加速度(m/s <sup>2</sup> )	時間(s)	加速度(m/s <sup>2</sup> )	時間(s)	
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		433		0.85
地震動の卓越周期 (sec)	0.881		1.764		-
橋の卓越周期 (sec)	1.735		1.735		-
天端節点における最大応答変位 (mm)	237.6		505.2		2.13
柱基部の最大せん断力 (kN)	6353		11016		1.73
コンクリートの最大ひずみ	1268.1		3284.1		2.59

表-4 解析結果比較表 (⑧地震動・⑪地震動)

地震動	⑧道示タイプI-2		⑪道示タイプII-2		
	加速度(m/s <sup>2</sup> )	時間(s)	加速度(m/s <sup>2</sup> )	時間(s)	
応答値 (P2橋脚)	⑧地震動		⑪地震動		応答値の比率
最大加速度 (gal)	424		557		1.31
地震動の卓越周期 (sec)	1.621		1.667		-
橋の卓越周期 (sec)	1.735		1.735		-
天端節点における最大応答変位 (mm)	655.8		646.2		0.99
柱基部の最大せん断力 (kN)	11650		11503		0.99
コンクリートの最大ひずみ	5581.1		5301.5		0.95