

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

名古屋工業大学	正会員	○富	健一
名古屋工業大学	学生会員	藤田	康平
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。また、免震支承を用いる際には、分散支承よりもさらに長周期化させることで地震時水平力の低減が図れることを期待する設計手法が用いられている。

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、橋梁規模で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当該位置の地盤条件を考慮した地震動との関係を明らかにし、近い内に発生すると思われる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）により設計された仮想の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）、および、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を用いて動的応答解析を実施し、長周期成分を多く含む地震動と構造物の地震挙動の関係を調べ、近年発生した大地震との応答値の比較検討を行った。

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地震時応答解析法を用いた。

解析対象は、図-1に示すように5径間連続PC箱桁橋で、逆T式橋台（杭基礎）、張出式円柱橋脚（杭基礎）より構成される。塑性化と思われる円柱部は、図-2に示すようにファイバーモデルでモデル化し、橋台堅壁部、橋脚梁部、フーチングは弾性梁要素としてモデル化した。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する。鉄筋およびコンクリートの材料非線形モデルは、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モデルを用いる。なお、本研究では、解析ツールとしてUC-WIN/FRAM⁴⁾（3D）を使用した。

3. 対象高架橋

本研究で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。一般的に用いられている鋼製支承（固定）、水平反力分散支承、免震支承の3タイプの支承形式に対して解析を行い、支承形式による応答の違いを検証した。免震支承は履歴減衰を考慮できるのに対して、水平反力分散支承は線形モデ

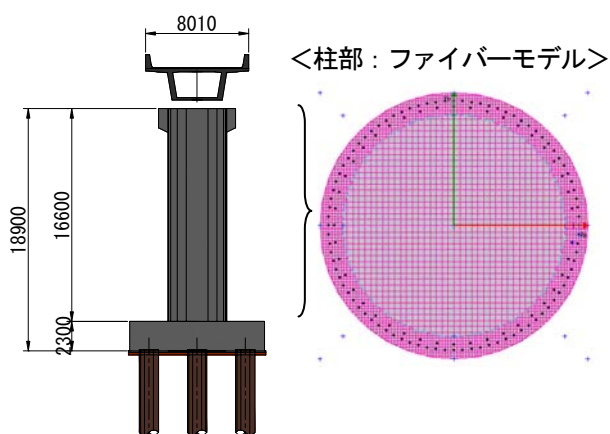


図-2 橋脚における円柱部のモデル化

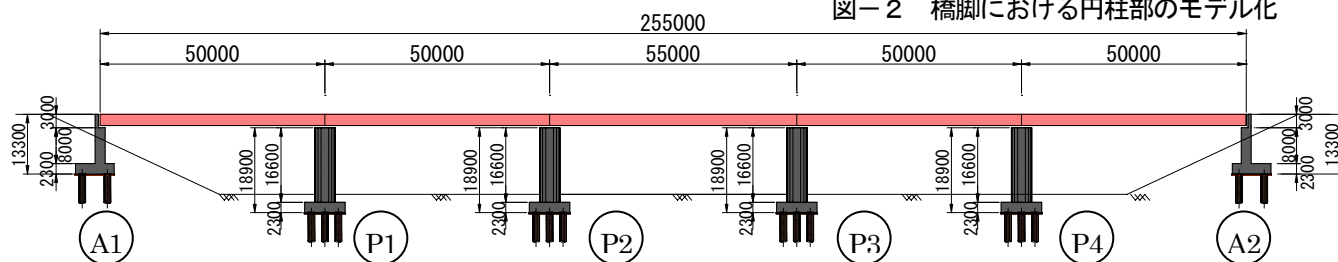


図-1 橋梁一般図

ルである。水平反力分散支承の減衰定数は、道路橋支承便覧⁴⁾より3%とした。各支承形式における固有周期算出結果を表-1に示すが、免震支承を用いることで固有周期は固定の場合の2倍以上長周期化している。

4. 入力地震動

本研究で用いた地震動加速度の概要を表-2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⁵⁾を行うことにより求めた。工学的基盤面について、①～④は、これまでの国内の主要な強震記録と各地の断層パラメータを用い推定した^{6),7)}。⑤についてはKIK-NET⁸⁾、⑥についてはK-NET⁹⁾の地中データを使用し、地盤の地震応答解析により工学的基盤面の地震動に変換したものを使用した。ここで、名古屋中心部の軟弱な地盤条件とは、地表より30m程度の深さで基盤面(N値50以上の耐震設計上の基盤となる地盤)が出現する地層のことを想定している。

なお、各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。

5. 解析結果と考察

解析結果の考察の一例として、橋の固有振動数と作用する地震動の固有振動数との関係に着目する。最大加速度がTR方向で1.5倍程度違う③東海・東南海複合地震と⑥十勝沖地震に対して、支承条件が免震支承の場合におけるP2橋脚の応答値の比較を行った。各地震動の特徴と解析結果の応答値を表-3に示すが、最大加速度が大きい⑥地震動よりも③地震動の方が大きな応答値となった。これは、③地震動と橋の卓越振動数が非常に近似しているため、共振作用により応答値が大きくなったと思われる。

この結果より、③と⑥はともに長周期地震動であるが、構造物の固有振動数と地震動の卓越振動数の関係によって、

表-1 各支承形式における橋軸方向の固有周期

支承形式		固有周期(sec)
A	鋼製支承(固定)	0.601
B	水平反力分散ゴム支承	1.067
C	免震支承(鉛プラグ入り積層ゴム支承)	1.301

※免震支承の固有周期は道示タイプII地震動作用時の値である。

表-2 解析地震動の概要

地震名	発生日	最大加速度(gal)		卓越振動数(Hz)	
		LG	TR	LG	TR
①想定東海地震		123	123	1.28	1.28
②想定東南海地震		211	211	1.10	1.10
③東海・東南海複合地震		212	212	1.03	1.03
④兵庫県南部地震	1995/1/15	438	378	0.50	0.83
⑤三陸南地震	2003/5/26	166	197	1.40	4.47
⑥十勝沖地震	2003/9/26	258	327	5.10	1.85

応答値が大きく異なることが確認できた。

6. まとめ

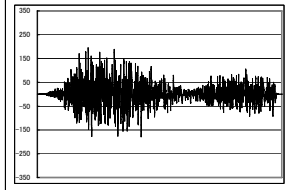
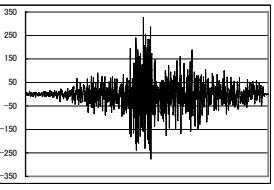
現在の道示で設計された多径間連続橋に対して、今後想定される大地震や近年発生した大地震を作用させた動的解析を実施し、地震波の卓越振動数と橋の固有振動数が近似していると最大加速度が比較的小さくても大きな応答値となる結果が得られた。

今後は、長周期地震動が作用した際に、地震動の固有振動数や最大加速度、支承条件の違いにより橋の応答にどのような影響があるか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) 古本吉倫ほか：非定常スペクトル重ね合わせによる強震動予測法の再検討，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，I-B，pp.550-551，1998.10.
- 7) 古本吉倫ほか：兵庫県南部地震により被災したコンクリート橋脚地点における強震動シミュレーション，平成11年度自然災害総合研究班中部地区シンポジウム発表論文集，pp.35-44，1999.12
- 8) 防災科学技術研究所 KIK-NET ホームページ：
<http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 9) 防災科学技術研究所 K-NET ホームページ：
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>

表-3 解析結果の一例

地震動	③東海・東南海複合地震		⑥十勝沖地震	
				
応答値(P2橋脚)	③地震動		⑥地震動	
最大加速度(gal)	212		327	
地震動の卓越振動数(Hz)	1.03		1.85	
橋の卓越振動数(Hz)	1.17		1.11	
支承部の最大応答変位(mm)	40.6		36.1	
コンクリートの最大ひずみ	481		380	
鉄筋の最大ひずみ	563		363	
応答値の比率			1.54	