

第 部門 長周期地震動による連続高架橋の地震応答特性

関西大学工学部 学生員 ○ 鹿田 哲生 (株) 栗本鐵工所 正会員 津田久嗣
 関西大学大学院 学生員 萩原敏子 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

先の兵庫県南部地震以降、地震対策として、免震設計が多用されるようになった。しかし、近年注目されている長周期地震動は、周期の長い揺れが長時間続くため、免震構造物においても予想外の損傷をもたらす可能性がある。また、今後発生確率が高いといわれている東海・東南海・南海地震においては、非常に振幅の大きい長周期地震動が都市平野部で生じるといわれている。本研究では、鋼製橋脚で支えられた多径間連続免震高架橋に対して、長周期地震動または強振動による高架橋全体の地震時応答特性を弾塑性時刻歴応答解析によって明らかにする。また、種々の地震動を入力した動的解析を行い、入力地震動の相違が高架橋の地震時応答特性に及ぼす影響を明らかにする。

2. 解析モデル

図-1 に示すような支間長 40m、橋脚高 10m の鋼 3 径間連続高架橋を解析する。上部構造は、図-2 に示すような 5 主桁からなる連続非合成鋼 I 桁橋である。4 本の鋼製橋脚はすべて正方形断面からなり、幅厚比は P_2 橋脚では 70、 P_3 橋脚では 85、その他では 90 である。また、部材は鋼種 SM490Y と SS400 とし、その応力 - ひずみ関係には bi-linear 型を仮定した。なお、鋼製橋脚は一般に補剛断面からなるが、ここではそれを等価な無補剛断面にモデル化した。免震支承には鉛プラグ入り積層ゴム支承を用い、水平剛性に等価剛性を用いた。基礎 - 地盤系は、水平、鉛直、回転の 6 自由度を有する地盤バネにモデル化した。

3. 入力地震動

長周期地震とは、地震の揺れの中でも人が感じにくいようなゆったりとした揺れのことである。一般的に、揺れの振幅は比較的小さいが、その揺れが 300 ~ 400 秒間続くという地震である。この長時間続く横揺れが、構造物に被害をもたらす可能性が指摘されている。図-3 は 2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震において苫小牧市で観測された地震加速度波形、図-4 は 2004 年 10 月 23 日の新潟県中越地震において十日町市で観測された地震加速度波形である。両者の波形を比較すると、図-4 の波形は細かく素早く揺れているのに対し、図-3 の波形はゆったりとした揺れであることがわかる。

本研究では入力地震動として、長周期地震動と短周期地震動

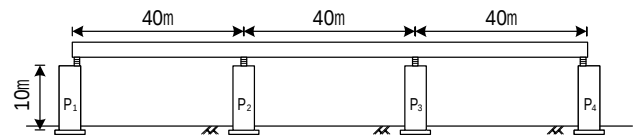


図-1 解析対象

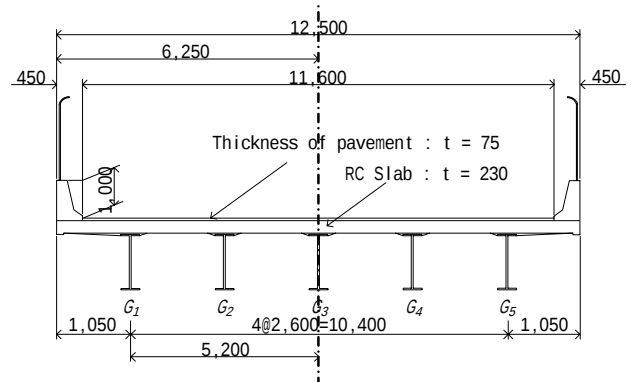


図-2 上部構造の断面図 (単位 mm)

表-1 橋脚の断面寸法諸元

	P_2	P_3	P_1, P_4
鋼種	SM490		SS400
フランジ幅 b_f (mm)	3		2.5
箱断面形状比 b_f/b_w	1.0		
幅厚比 $b_f/t_f, b_w/t_w$	70	85	90
降伏応力 σ_y (MPa)	353		235
ヤング率 E_c (GPa)	206		

表-2 地盤の剛性

	種地盤
水平剛性 (GN/m)	1.47
鉛直剛性 (GN/m)	980.0×10^3
回転剛性 (GNm/rad)	29.4

表-3 支承諸元

	P_1	P_2	P_3	P_4
水平バネ剛度 K_H (kN/m)	1930	4200	3580	1930

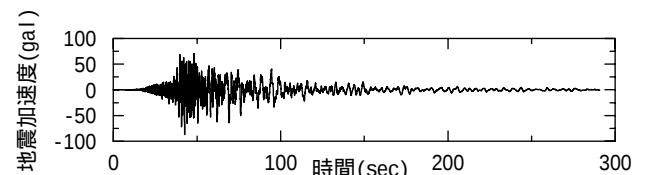


図-3 2003年9月26日 十勝沖地震 苫小牧市で観測された地震加速度波形の NS 成分

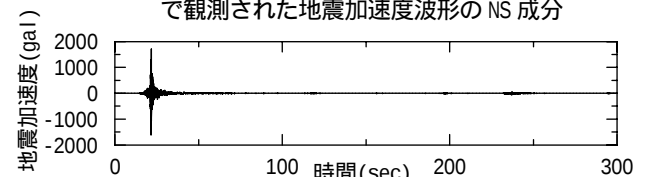


図-4 2004年10月23日 新潟県中越地震 十日町市で観測された地震加速度波形の NS 成分

を用いる．長周期地震動として2003年9月26日に十勝沖地震（苫小牧市）で観測された地震加速度，短周期地震動として2004年10月23日に新潟県中越地震（十日町市）で観測された地震加速度，1997年5月13日に鹿児島県北西部地震（出水市）で観測された地震加速度を用いる．そして，それぞれの地震波は橋軸方向にNS成分，橋軸直角方向にEW成分，上下方向にUD成分を作用させる．ただし，解析には，振幅調整を行った入力地震動とした．

4. 解析手法と解析条件

解析手法には有限要素法を適用し，汎用有限要素解析プログラム“LS-DYNA”を用いた．構造系全体の運動方程式は有限変位理論に基づいて誘導され，up-dated Lagrangian 手法を用い，それを陽解法の一つである中央差分法で解く．

5. 数値解析結果とその考察

免震支承で支えられた鋼3径間連続高架橋を対象に，短周期・長周期の地震動を作用させ，解析を行った． P_1 橋脚と P_4 橋脚において，各主桁がそれぞれ示す挙動にはあまり差がみうけられない．これは，橋脚上と支間中央に配置された横桁により上部構造が剛接されているためと考えられる．このことから，橋桁は一つの剛体のように変位することがわかる．これらの変位量を表-3に示す．

橋軸方向では， P_1 橋脚上と P_4 橋脚上の上部工の最大変位は約195mmに達する．また，橋脚の最大変位は約5mmであり，上部工の影響を受けていない．橋軸直角方向においても上部工の変位は最大約430mmと大きい，橋脚頂部の変位は最大約4mmであり，橋軸方向と同様に，上部工の影響を受けていない．しかし，上部工と橋脚頂部の応答変位が大きく異なり，上部工の挙動が大きい．これは，免震支承による影響であると考えられるが，長周期地震動により上部工の変位が増大したことも考慮に入れるべきである．また，このように上部工の水平変位が大きいことから，隣接する桁やパラペットとの衝突や，それによる桁の破損，落橋の可能性があると考えられる．

短周期地震動を作用させた場合は，上部工と下部工の変位はほとんど変わらなかった．このことから，地震動の違いによる高架橋の挙動は明らかに異なることがわかった．また，長周期地震を作用させた場合，上部工は水平方向に大きく変位するが，鉛直方向には比較的変位しないことがわかった．図-5，図-6にその軌跡を示す．

表-3 P_1 橋脚上の各主桁位置における最大水平変位（長周期地震動）

			G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
P_1	上部工	橋軸方向の最大変位 (mm)	195.2	195.3	195.4	195.4	195.5
		橋軸直角方向の最大変位 (mm)	424.2	424.2	424.2	424.1	424.1
	橋脚頂部	橋軸方向の最大変位 (mm)	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
		橋軸直角方向の最大変位 (mm)	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7

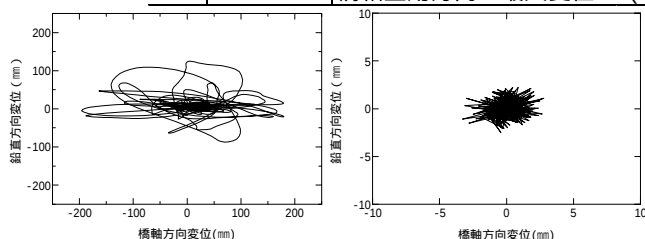


図-5 P_2 橋脚上部工(左)と下部工(右)の変位（長周期地震動）

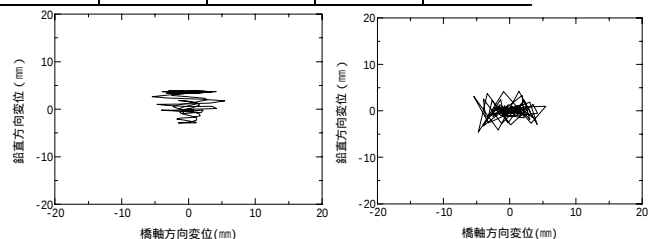


図-6 P_2 橋脚上部工(左)と下部工(右)の変位（短周期地震動）

6. あとがき

長周期地震動による周期の長い地震波により，免震支承を有する上部工の応答変位は増大する．特に，水平方向への変位は著しく，橋軸方向の最大変位は約195mm，橋軸直角方向の最大変位は約430mmに達する．したがって，隣接桁との衝突や，それによる落橋が生じる恐れがあり，それらの問題に対応する対策が必要となる．

これらのことから，橋梁を免震化することも地震対策となるが，免震の概念だけでなく，多様な地震ケースに対する制震などによる対策が必要であることがわかる．また，短周期地震動による上部工の水平方向への変位は，長周期地震のケースと異なり，著しい変位はみられず，橋軸方向，橋軸直角方向ともに最大変位約5mmであった．このことから，地震動の違いによる高架橋の挙動は明らかに異なることがわかった．

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，丸善，2002-3. 2) 建設省土木研究所編：道路橋の免震設計法マニュアル(案)，1992-12. 3) 防災科学技術研究所：K-net 強震記録.