

免震設計された連続高架橋の長周期地震時応答と性能評価

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○竹口智也

関西大学環境都市工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

2006 年 11 月に土木学会と建築学会は共同で『海溝型巨大地震による長周期地震と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言』¹⁾を公表した。固有周期の長い構造物は長周期地震動を受けると共振現象を起こし、ダメージを受ける可能性がある。

これまで高架橋を支える橋脚の強度と変形性に関する研究が解析あるいは実験の両面から多く行われてきたが、長周期地震動を受ける場合の応答からの検討は、未だ不十分である²⁾。

ここでは、平野部の軟弱地盤上に位置する鋼製橋脚で支持された 3 径間連続高架橋を対象に、長周期地震動が構造物の応答に及ぼす影響を動的解析によって検討したので報告する。

2. 解析対象の橋梁と入力地震動

解析対象の橋梁は、40(m)の支間からなる 3 径間連続高架橋である。それは高さが 10(m)の鋼製橋脚で支えられている。解析対象の全体図を図-1 に示す。表-1 に鋼製橋脚の構造諸元を示す。支承に鋼製支承と免震支承を仮想した。免震支承は $K_1=173.0(\text{MN/m})$ 、 $K_2=26.6(\text{MN/m})$ 、 $Q_y=2.04(\text{MN})$ の非線形履歴モデルとした。地盤種はⅡ地盤とした。

入力地震動に示方書の標準入力波の中から 6 種類を採用した。また、長周期地震動として、2003 年に発生し、長周期成分が観測された十勝沖地震を用いる。入力地震動の一覧を表-2 に示す。ここに、卓越周期はフーリエ解析から得られたスペクトルの最大値である。

3. 数値解析法

数値解析に汎用有限要素プログラム“MARC2005r3”を用いた。その際、弾塑性有限変形を選択し、定式化に Up-dated Lagrangian 手法を、非線形代数方程式の解法に Newton- Raphson 法を選択した。

橋梁の固有振動数は各振動モードに対し、逆べき乗法で求めた。また、時刻歴応答解析にニューマークの β 法($\gamma=1/2$, $\beta=1/4$)を用いた。なお、構造物の減衰にレイリー減衰を適用し、減衰定数を 0.05 とした。

4. 数値解析結果とその考察

(1) 入力地震動が応答に及ぼす影響

鋼製支承で支持された連続高架橋に対し、7 種の地震動に対する動的解析結果を表-3 に示す。表中、応答変位と速度は支承位置での応答値である。また、No.3, 4, 7 の地震動を入力した場合、横軸に応答時間を、縦軸に応答変位をとれば、図-2 の応答曲線を得る。

表-2 と表-3、図-2 から分かるように、入力地震動の大きさは、橋梁の応答変位に直接影響していない。また、鋼製支承で支持された橋梁に長周期地震動が作用した場合の応答変位、残留変位は小さく、どちらも耐震性能を満足した。

(2) 支承が応答に及ぼす影響

支承の違いが応答に及ぼす影響を明らかにする。免震支承で支えられた上部構造の最大応答変位、最大応答速度、残留変位をまとめると、表-3 を得る。No.3 と No.4 の地震動に対し、横軸に入力時間を、縦軸に応答変位をとると、図-3 の応答曲線を得る。

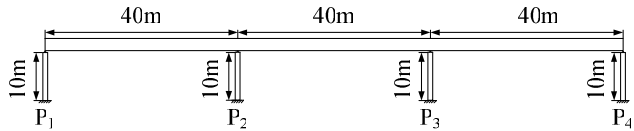


図-1 解析対象橋梁の側面図

表-1 鋼製橋脚の構造諸元

$\bar{\lambda}$	R_F	R_R	γ/γ^*	N/N_y
0.26	0.40	0.41	2.51	0.10

表-2 入力地震動

No	発生年	地震動	最大加速度 (gal)	卓越周期 (s)
1	1978	宮城県沖地震(Ⅰ)	318	1.36
2	1968	日向灘沖地震(Ⅱ)	362	1.32
3	1983	日本海中部地震(Ⅲ)	433	1.78
4	1995	兵庫県南部地震(Ⅰ)	812	0.73
5	1995	兵庫県南部地震(Ⅱ)	686	1.02
6	1995	兵庫県南部地震(Ⅲ)	591	1.99
7	2003	十勝沖地震	480	1.42

キーワード 長周期地震動、非線形動的解析、耐震性能評価、連続高架橋、免震支承、鋼製橋脚

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL 06-6368-0882

表-3 と表-4、図-3 から、No.3 の地震動の場合を除いて、免震支承の場合が鋼製支承の場合に比べて大きな応答変位を呈している。免震支承の剛性が低くなるとより変形しやすくなるので、拘束された鋼製支承の場合に比べて大きな変位を呈した。また、No.3 の地震動を入力した場合に最大応答変位が大きいのは、橋脚が塑性化し、固有周期が長くなったため、No.3 の地震動と共振したことが考えられる。

表-3 と表-4 から明らかなように、長周期地震による応答は、鋼製支承の場合は7つの地震動の中で最小となったが、免震支承の場合は最小とはならなかった。このことから、免震支承は長周期地震動の影響を受けやすいといえる。

つぎに、横軸に入力地震動の卓越周期、縦軸に橋脚基部に作用する最大せん断力の鋼製支承と免震支承との差をとると、図-4 を得る。同図から明らかなように、周期が長くなると、最大せん断力の鋼製支承と免震支承との差が少なくなった。このことから、卓越周期の長い地震動では免震効果が発揮されないことが分かる。

5. あとがき

本研究で得られた結果をまとめれば、以下のようである。

- (1) 地震動の最大加速度と橋梁の最大応答変位との関係から、地震動の大きさが応答変位に影響するとは一概に言えないことが分かった。
- (2) 免震支承は鋼製支承に比べて上部構造の最大応答変位は大きい、基部に作用するせん断力は少ない。しかし、免震支承は周期の長い地震動に対して、免震効果が得られにくいことが分かった。
- (3) 長周期地震動は、鋼製支承より免震支承の方が応答値に与える影響は大きい。これより、長周期地震動が卓越するといわれている堆積層の平野部では、免震支承より鋼製支承の方が有益である。
- (4) 動的耐震性能評価に用いる入力地震動には、解析モデルに対し、厳しい結果となる地震動を適用すべきである。

参考文献

1) 額田一起・三宅弘恵：第9回地震災害マネジメントセミナー論文，pp.1-7，2008。
2) 富健一・藤田康平・糸山豊・梅原秀哲：コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.3，2007。

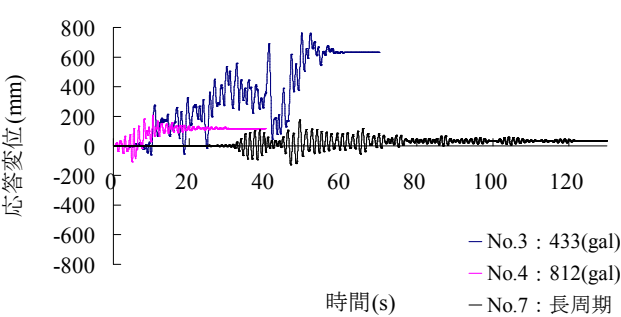


図-2 入力地震動の違いによる時刻歴応答

表-3 動的解析の結果（鋼製支承）

No	最大応答変位 (mm)	最大応答速度 (mm/s)	最大せん断力 (MN)	残留変位 (mm)
1	323.43	615.21	4.05	238.54
2	223.01	759.03	3.91	49.79
3	762.74	1189.64	4.39	631.69
4	205.44	904.10	4.44	118.79
5	382.14	854.95	4.40	230.34
6	352.80	1179.44	4.20	117.15
7	175.08	696.90	3.72	34.53

表-4 動的解析の結果(免震支承)

No	最大応答変位 (mm)	最大応答速度 (mm/s)	最大せん断力 (MN)	残留変位 (mm)
1	330.65	1603.03	2.93	5.03
2	358.66	1808.74	3.14	5.29
3	404.90	1987.00	3.47	13.23
4	306.54	1676.94	2.71	2.04
5	606.21	2518.33	3.76	15.96
6	626.57	2389.59	3.95	198.94
7	351.43	1835.05	3.10	27.17

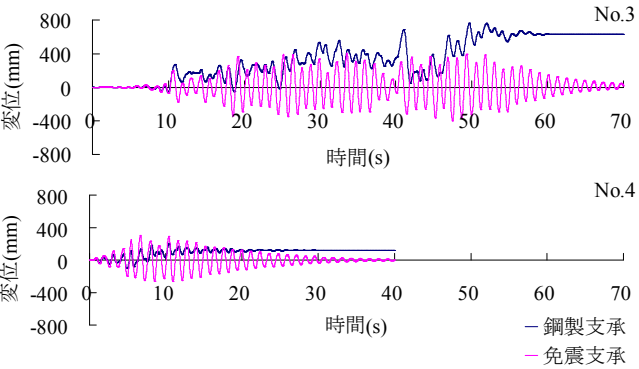


図-3 支承条件の違いによる時刻歴応答

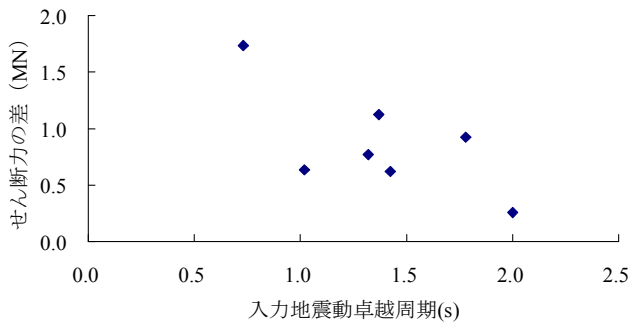


図-4 支承条件の違いによるせん断力の差