

剛性の異なる免震支承で支えられた連続高架橋の地震時応答

片山ストラテック(株) 正会員 岡崎 真 (株)栗本鐵工所 正会員 津田久嗣
 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

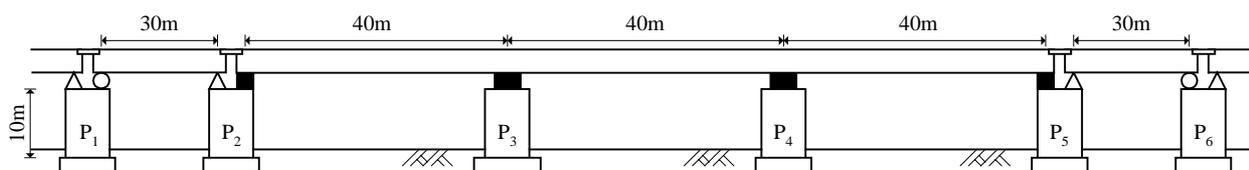
1. まえがき 兵庫県南部地震以降、鋼製支承の水平反力分散支承や免震支承への取り替えによる既設高架橋の耐震補強が積極的になされている。しかし、既設高架橋の支承を取り替える場合、地震時の上部工の応答によっては、橋桁同士あるいは橋桁と橋台との間に衝突が生じる。都市内の高架橋は、設置地点の地盤が比較的軟弱なため、鋼製橋脚を採用するケースが多い。このような橋梁を免震化すれば、その長周期化を招く恐れがある。ところで、兵庫県南部地震後に改訂された道路橋示方書 耐震設計編¹⁾には免震設計の条項が設けられている。ただし、コンクリート無充填の鋼製橋脚に対する耐震設計規準は定かでない。それゆえ、この種の高架橋に免震支承や水平反力分散支承を適用した事例は少ない。したがって、今後の鋼製橋脚で支えられた既設高架橋の免震設計を範疇に、要素間の相互作用を考慮した橋梁系全体の挙動に加え、隣り合う桁同士の衝突を加味した耐震設計法の確立は極めて重要である。

以上のような背景から、筆者²⁾は、鋼製橋脚で支えられた既設高架橋を対象に、鋼製支承を水平反力分散支承や免震支承に取り替えた場合について、免震支承の設計変位が隣り合う桁同士の衝突を考慮した橋梁系全体の動的挙動に及ぼす影響を検討した。しかし、文献²⁾では、橋梁に設けられた免震支承の設計変位を求めて等しく設定したため、合理的な設計とはいえない。本研究では、さきの研究²⁾をさらに進め、橋梁に設けられた免震支承の設計変位が異なる連続免震高架橋の地震応答特性を検討した。

2. 解析モデルと入力地震動 解析対象は、図-1に示すような3径間連続橋と単純桁橋2連からなる既設高架橋で、3径間連続橋の鋼製支承を免震支承に取り替えた場合とする。なお、説明の便宜上、左側の橋脚から順に P_1, \dots, P_6 と名づけた。上部工は5主桁からなる連続非合成鋼I桁とし、RC床版の断面積と断面2次モーメントは鋼と等価な断面に換算した³⁾。支承は、水平方向と鉛直方向のパネでモデル化し、免震支承は鉛プラグ入り積層ゴム支承として設計した⁴⁾。6本の鋼製橋脚はすべて10mの高さで、その断面はフランジの幅と厚さが b_f, t_f 、腹板の幅と厚さが b_w, t_w の正方形からなる。鋼製橋脚の鋼種、フランジと腹板の幅厚比は表-1のとおりで、その応力-ひずみ関係はひずみ硬化を加味したbi-linear型である。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。基礎-地盤系は、基礎を1質点の剛体とし、地盤の影響を水平・鉛直・回転の3自由度からなるパネでモデル化した。桁間では、圧縮の場合に上部工の衝突を、引張の場合に落橋防止装置の作動を考慮した。なお、入力地震波には、兵庫県南部地震の際、東神戸大橋地盤上で観測された地震加速度波形を用い、高架橋の橋軸方向に作用させた。

表-1 橋脚の断面諸元

	P_3	P_4	P_1, P_6	P_2, P_5
鋼種	SM490Y		SS400	
b_f (m)	2.5	2		
b_f/b_w	1			
$b_f/t_f, b_w/t_w$	70	85	90	80
R_R	0.30	0.47	0.37	0.40



△：固定支承 ○：可動支承 ■：水平反力分散支承あるいは免震支承

図-1 連続高架橋のモデル

Keywords：既設連続高架橋，鋼製橋脚，免震支承，地震応答，有限要素法

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

3. 解析手法 連続免震高架橋の地震応答を有限要素法で明らかにする．この場合、橋脚は弾塑性有限変位理論に、橋桁は弾性微小変位理論に従うものとした．構造系の運動方程式を Newmark の β 法で多元連立の非線形代数方程式に変換し、それを混合法で解いて、高架橋の地震応答を求めた．なお、桁間の衝突には完全非弾性衝突を仮定し、力積の概念を参考に、衝突時の隣接する上部工の相対速度から衝突荷重を求めた．

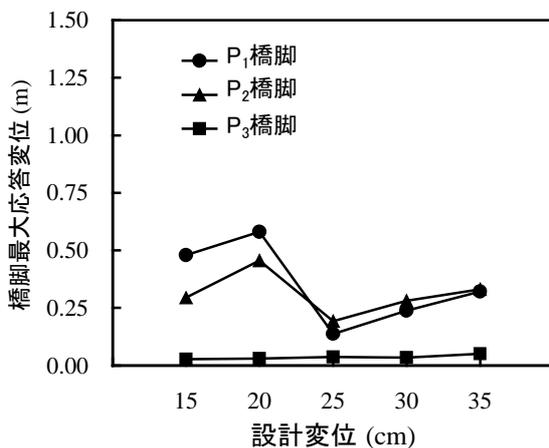
4. 数値解析結果とその考察

a) 免震支承の設計変位（25cm）と地震応答との関係
免震支承の設計変位が高架橋の地震応答に及ぼす影響を検討した．すなわち、連続桁を支える免震支承の設計変位がすべて 25cm の高架橋と、 P_2 と P_5 橋脚上の免震支承の設計変位を 5cm 単位で変化させた場合（Case 1）、 P_3 と P_4 橋脚の免震支承の設計変位を 5cm 単位で変化させた場合（Case 2）の 2 ケースについて 5 種類の支承をさらに考え、それらで支持された高架橋の地震応答を比較した．それぞれの高架橋に対して $P_1 \sim P_3$ 橋脚の最大応答変位を図示すれば、図 - 2 を得る．図から明らかなように、Case 1 の場合、いずれの高架橋においても橋脚の最大応答変位は増加する．Case 2 の場合、免震支承の設計変位が増加すると、Case 1 の場合と同様に橋脚の最大応答変位は増加する．しかし、免震支承の設計変位が減少すると、橋脚の最大応答変位は減少する．

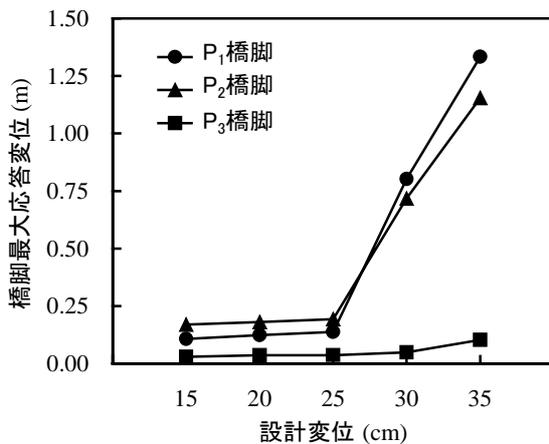
b) 免震支承（15cm）の設計変位と地震応答との関係
a)の解析結果から、 P_2 と P_5 橋脚上の免震支承の設計変位を 25cm、 P_3 と P_4 橋脚の免震支承の設計変位を 15cm に設定した場合に、橋脚の最大応答変位が最小となった．そこで、 P_3 と P_4 橋脚の免震支承の設計変位を 15cm に固定し、 P_2 と P_5 橋脚上の免震支承の設計変位を 25cm から 5cm 単位で減少させた場合の動的解析を行った．それぞれの高架橋に対して $P_1 \sim P_4$ 橋脚の最大応答変位を示せば、表 - 2 を得る．表から明らかなように、 P_2 と P_5 橋脚上の免震支承の設計変位を減少させるほど橋脚の最大応答変位が減少する．

5. あとがき 免震支承の設計変位が異なる高架橋の地震応答を比較した場合、 P_3 と P_4 橋脚の免震支承の設計変位を減少させることによってすべての橋脚の最大応答変位を低減させることが可能となり、合理的な設計を行うことができる．また、桁端に十分な支承の設置スペースがある場合、可能な限り桁端に設置される免震支承の設計変位を少なくすれば、橋脚の最大応答変位を小さくすることができる．

参考文献 1)日本道路協会編：道路橋示方書 耐震設計編，丸善，1996-12．2)岡崎ら：桁同士衝突を考えた連続免震高架橋の地震応答，構造工学論文集，2002-3．3)日本道路協会編：道路橋の耐震設計に関する資料，丸善，1997-3．4)建設省土木研究所：道路橋の免震設計法マニュアル(案)，1992-10．



(a) Case 1



(b) Case 2

図 - 2 各設計変位に対する橋脚天端の最大応答変位図（25cm）

表 - 2 橋脚の最大応答変位と残留変位

設計変位 (cm)	P_1 橋脚	P_2 橋脚	P_3 橋脚	P_4 橋脚
P_2, P_3, P_4, P_5				
25,15,15,25	0.1262 (0.062)	0.1690 (0.123)	0.041 (0.002)	0.039 (0.004)
20,15,15,20	0.1182 (0.074)	0.1612 (0.131)	0.0387 (0.008)	0.047 (0.010)
15,15,15,15	0.1072 (0.060)	0.1607 (0.123)	0.0295 (0.002)	0.039 (0.004)

単位：m ()内は残留変位を表す