

(株)栗本鐵工所 正会員 津田久嗣 関西大学工学部 学生員 ○岡崎 真
関西大学大学院 学生員 平 幸蔵 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

都市高速道路などを構成する既設高架橋は、軟弱な地盤上に建設されることが多いため、免震支承の使用はいまだ検討の段階にある。また、震災後に改訂された道路橋示方書¹⁾においても、既設橋に対する免震設計の規定は設けられず、免震設計による耐震補強の確立が急務となっている。

ところで、兵庫県南部地震では、構造物の損傷に地盤が大いに影響したことは周知のとおりである。免震橋に関するさまざまな研究が行われているが、地盤特性に着目したものは少なく、構造物の耐震設計を考えるには、地盤と構造物との動的相互作用を明らかにする必要がある。

ここでは鋼製橋脚で支持された連続免震高架橋を対象に、地震力の位相差と地盤の非線形性がその地震応答に及ぼす影響を明らかにする。

2. 連続高架橋の解析モデル

連続高架橋の一例として、Fig.1 に示す 3 径間連続高架橋を取り上げ、すべてのスパン長が 40m の場合を解析する。説明の便宜上、左端の橋脚から順に P_1 , ..., P_4 と名づける。

(1) 橋脚と橋桁

鋼製橋脚は高さが 10m、一辺が 2m の正方形断面からなる。橋脚を構成する 4 枚の板パネルに関して、 P_2 橋脚の幅厚比は 60、その他のそれは 80 とする。鋼種は SM490Y とし、その応力-ひずみ関係はひずみ硬化する bi-linear 型とする。橋桁は連続非合成 I 桁からなり、その重量は 1 スパンあたり 5.04MN とする。

(2) 支承と基礎-地盤系

免震支承には、鉛プラグ入り積層ゴム支承を想定し、

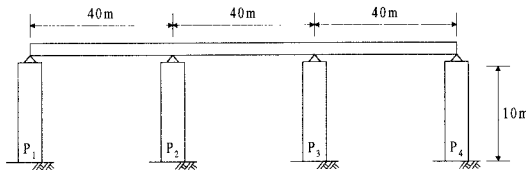


Fig.1 3 径間連続高架橋のモデル図

bi-linear な履歴特性を有する橋軸方向と上下方向のバネにモデル化する。これを文献 2) に従って設計した。その諸元を Table 1 に示す。

基礎-地盤系は、基礎を 1 質点の剛体にモデル化し、地盤は水平・鉛直・回転の 3 自由度からなるバネにモデル化する。その諸元を文献 3) を参考に決定した。

3. 解析手法

免震高架橋の大地震時応答解析を有限要素法で行う。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て定式化した。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る。なお、入力地震波には、兵庫県南部地震の際、東神戸大橋周辺地盤上で観測された地震加速度波形を用いる。ここに、橋脚の有限要素数と断面分割数、および、橋桁の有限要素数は、それぞれ 10, 6, 2 である。

4. 数値解析結果とその考察

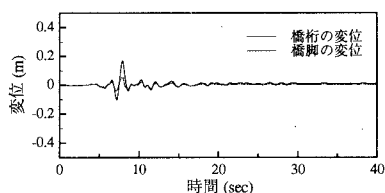
(1) 入力地震動の位相差が応答に及ぼす影響

入力地震動の位相差が高架橋の地震応答に及ぼす影響を明らかにするため、地震動の位相差を地震波が個々の橋脚に到達する時間の差ととらえ、各橋脚に入力する地震波にこれを考慮する。

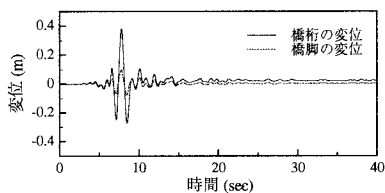
橋脚に作用する地震波の伝播速度は高架橋の立地地点の地盤特性によって異なる。伝播速度が 200m/s と 400m/s の場合、 P_2 橋脚上の変位応答曲線が Fig.2 のように求められた。図から明らかなように、両伝播速度の場合とも橋脚の変位は 10cm 以下で、すべての橋脚が弾性挙動を呈している。伝播速度が 200m/s の

Table 1 免震支承の諸元

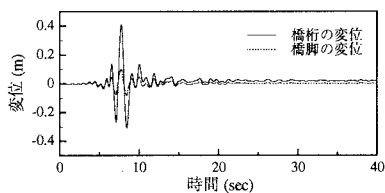
橋脚	水平剛性			鉛直剛性 GN/m
	降伏荷重 kN	1 次剛性 MN/m	1 次/2 次	
P_1	756	41.5	6.5	980
P_2	1384	97.0		
P_3	1154	79.2		
P_4	756	41.5		



(a)位相速度が200m/sの場合

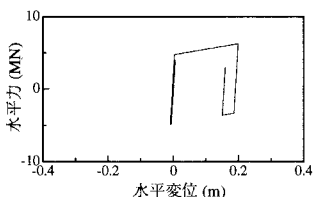


(b)位相速度が400m/sの場合

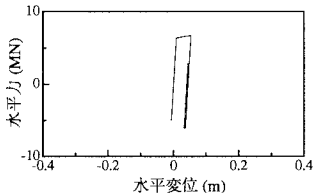


(c)同位相の場合

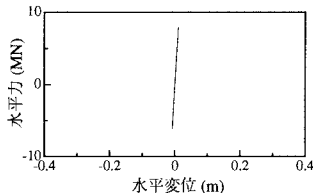
Fig.2 P₂橋脚上の変位応答曲線



(a)60%の降伏水平力の場合

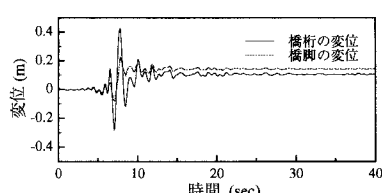


(b)80%の降伏水平力の場合

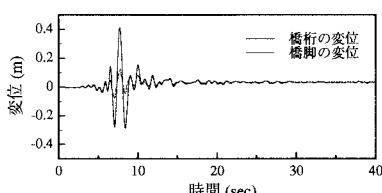


(c)弾性応答解析

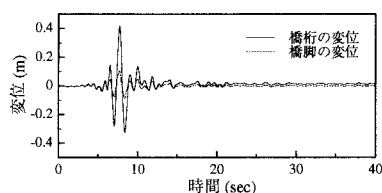
Fig.3 P₂橋脚下の地盤バネの履歴曲線



(a)60%の降伏水平力の場合



(b)80%の降伏水平力の場合



(c)弾性応答解析

Fig.4 P₂橋脚上の変位応答曲線

場合、橋桁の変位は 20cm 以下で、位相差を考慮しない場合の変位応答と大いに異なる。これに対して、位相速度が 400m/s の場合、位相差のない場合とほぼ同様の挙動を呈する。

(2) 地盤の非線形性が応答に及ぼす影響

地盤は地震時に非線形な応答を示すことがある。地盤と橋梁の動的相互作用を明らかにするには、地盤の非線形特性を考慮する必要がある。そこで、地盤バネの水平成分にbi-linearな履歴曲線を仮定し³⁾、その非線形性が橋梁系の動的応答に及ぼす影響を明らかにする。ここでは復元力特性の降伏水平力を変化させた。

2 次剛性を 1 次剛性の 1%とし、降伏水平力を弾性応答解析から得られた最大水平力の 60%と 80%にした場合、P₂ 橋脚下の地盤バネの履歴曲線が Fig.3 のように得られる。図から明らかなように、降伏水平力が小さいほど水平変位は増加する傾向にある。また、Fig.4 に示す P₂ 橋脚上での変位応答曲線から明かなように、降伏水平力が小さいほど橋脚頂部の変位は大きい。ただし、橋桁の変位はほとんど変化しない。なお、Fig.4(a)からわかるように、橋脚と橋桁には変形が残る。これは、地盤バネが完全に塑性化し、基礎が移動したことによるものと推測される。

5. まとめ

鋼製橋脚で支持された免震高架橋の地震応答特性を有限要素解析で明らかにした。その結果を要約すれば、以下のとおりである。

- (1) 入力地震波の位相差が免震高架橋の地震応答に及ぼす影響を明らかにした。橋桁の水平変位は、位相差のない場合に最も大きく、地震動の伝播速度が遅くなるに従って小さくなる傾向にあった。
- (2) 地盤バネに非線形性を考慮した場合、線形の場合に比べて、橋脚に作用する地震力は軽減されるが、橋脚と橋桁の水平変位は増加した。また、地盤特性の変化とともに高架橋の地震応答特性も変化した。それゆえ、既設高架橋を免震化する場合には、正確な地盤特性の把握が極めて重要である。

参考文献

- 1) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，1996-12.
- 2) 土木研究センター編：建設省道路橋の免震設計法マニュアル(案)，1992-12.
- 3) 永田・渡邊・杉浦：構造工学論文集，土木学会，Vol.42A，pp.593-602，1996.