

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

1. まえがき

兵庫県南部地震では、水平および上下方向の地震動が高架橋に損傷を与えた例が多く見受けられた。支承部に衝撃的な水平と上下方向の力が作用して支承が割裂した例、桁の浮き上がりや橋脚の横移動のために桁が支承から逸脱・脱落した例、などがあった。ところで、鉛プラグ入り積層ゴム支承は圧縮下での使用が前提で、支承に引張力が作用する場合の特性は定かでない。したがって、地震時の上下動に注目した、地震動の3次元運動特性が構造物の破壊過程に及ぼす影響を明らかにする必要があると思われる。ここでは、鉛プラグ入り積層ゴム支承に働く引張力が高架橋の地震応答特性に及ぼす影響を明らかにする。

2. 解析モデルと入力地震動

解析対象を図-1に示すような鋼製支承を免震支承に取り替えた3径間連続高架橋とする。説明の便宜上、左側から順に、桁を B_1 から B_3 、橋脚を P_1 から P_4 と名づけた。上部構造は、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次モーメントを等価な鋼で置き換えた。上部構造の重量は B_1 と B_3 が 6.73MN、 B_2 が 6.69MN である。免震支承は鉛プラグ入り積層ゴム支承で、水平2方向とも bi-linear 型の履歴曲線を仮定した。鋼製橋脚はすべて 10m の高さで、正方形断面からなる。その応力-ひずみ関係はひずみ硬化を考慮した bi-linear 型とした。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。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自由度からなるバネでモデル化した。なお、入力地震波には、兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台で観測された地震加速度波形を用い、橋軸方向に EW 成分、橋軸直角方向に NS 成分、上下方向に UD 成分を作用させた。

3. 有限要素法による弾塑性有限変位解析法

解析手法に有限要素法を適用した。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、それを混合法で解き、高架橋の地震時応答を求めた。

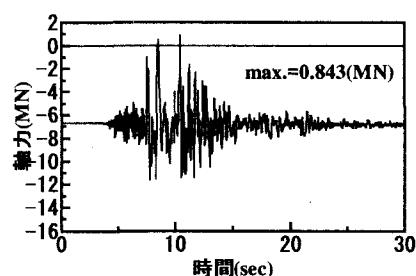
4. 数値解析結果とその考察

(1) 入力地震動の組合せが地震応答に及ぼす影響

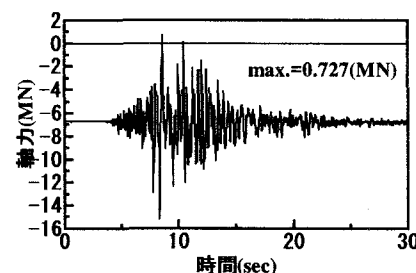
入力地震動を種々組合せて解析した結果、①上下方向と橋軸直角方向の地震動を加味した場合と②上下方向、橋軸方向、橋軸直角方向の3方向の地震動を加味した場合には、図-2のように、支承に引張力が作用した。

(2) 免震支承の減衰能力の低下が地震応答に及ぼす影響

大塚らの研究¹⁾によれば、鉛プラグ入り積層ゴム支承の圧縮平均面圧が小さくなるに従って、その履歴ループが細くなり、等価



(i) 上下方向+橋軸直角方向



(ii) 上下方向+橋軸方向+橋軸直角方向

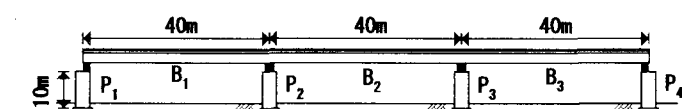


図-1 解析モデル

図-2 支承に働く軸力 (P_3 橋脚上)

減衰定数が減少する．ここでは，4. (1) で用いた免震支承(モデル 1)に比べて，等価減衰定数が 5%(モデル 2)と 10%(モデル 3)減少した免震支承を用い，免震支承の履歴減衰能力の低下が地震応答に及ぼす影響を明らかにする．なお，鉛プラグ入り積層ゴム支承では，鉛プラグが減衰能力を担っていることから鉛プラグの径を変化させ，形状寸法・ゴム総厚・鉛プラグの本数などは変えなかった．数値解析は，軸力の変動幅が最大であった上下方向・橋軸方向・橋軸直角方向の 3 方向の地震動が作用する場合について行った．

図-3 と表-1 から明かなように，免震支承の等価減衰定数が一定の割合で減少すれば， P_3 橋脚上における上沓位置での最大応答変位が一定の割合で増加する．また，支承の履歴ループが一定の割合で変化する．履歴ループが支承の等価減衰定数の変化とともに細長くなる．これは，前述の実験結果と同じ現象で，支承に引張力が作用すると，実際に起こる可能性がある．

図-4 に示す P_3 橋脚基部の曲げモーメントと曲率の関係によれば，免震支承の等価減衰定数が一定の割合で減少すれば，塑性域が一定の割合で広がる．これは，支承の履歴減衰能力が低下し，橋桁の慣性力が橋脚に作用する度合いが大きくなるためである．これが原因で，橋桁の変位が大きくなったと考えられる．

5. あとがき

鉛プラグ入り積層ゴム支承に働く引張力が高架橋の地震応答特性に及ぼす影響を明らかにした．上下方向と橋軸直角方向に地震動が作用するとした場合と，上下方向・橋軸方向・橋軸直角方向の 3 方向とも地震動の作用を考えた場合には，支承に働く軸力の変動が大きくなり，免震支承には引張力が生じた．

鉛プラグ入り積層ゴム支承は圧縮荷重下での使用が想定されているため，引張力が生じると，支承の履歴減衰能力が低下する．その低下を等価減衰定数の減少で表し解析した．一定の割合で等価減衰定数を減少させると，一定の割合で桁の変位が大きくなること，橋脚の塑性域が広がることがわかった．

参考文献 1)大塚ら：引張力を受ける鉛プラグ入り積層ゴムの限界特性に関する実験，構造工学論文集，2002-3.

表-1 P_3 橋脚上の上沓位置での絶対最大変位

	P_3	
	橋軸方向 (cm)	橋軸直角方向 (cm)
モデル 1	16.15	32.49
モデル 2	28.01	48.21
モデル 3	40.05	65.04

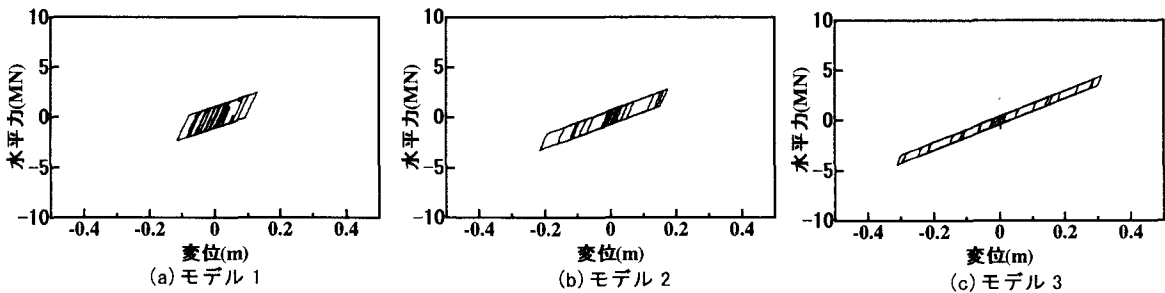


図-3 P_3 橋脚上の支承の履歴ループ(橋軸方向)

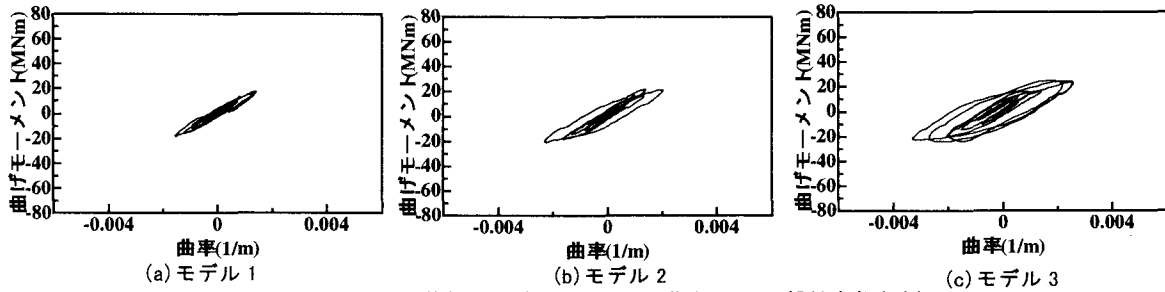


図-4 P_3 橋脚基部の曲げモーメントと曲率の関係(橋軸直角方向)