

関西大学工学部 正会員 堂垣正博  
 三菱重工業(株) 正会員 ○星加厚志  
 関西大学工学部 フェロー 三上市藏

1. まえがき

兵庫県南部地震の被害を踏まえ、橋梁系全体のバランスを考えた設計や地震力を受け流すことのできる設計が望まれるようになり、免震設計が注目されるようになってきた。しかし現状では、免震橋の動的特性がかならずしも十分に把握されたとは言えず、様々な条件下での動的応答が明らかにされる必要がある。

ここでは、鋼製橋脚からなる多径間連続高架橋を対象に、免震支承で支持された高架橋の地震応答を時刻歴応答解析によって明らかにする。また、鋼製支承もしくは水平反力分散支承で支持された場合も解析し、それぞれの応答を比較する。

2. 解析対象

図-1 に示すような多径間連続高架橋を解析する。鋼製橋脚は無補剛の箱形断面で、鋼材の応力-ひずみ関係には、ひずみ硬化を考慮した bi-linear な関係を仮定する。また、橋桁は連続非合成 I 桁を想定する。

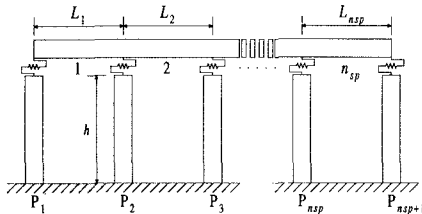


図-1 多径間連続高架橋のモデル

免震支承、鋼製支承、水平反力分散支承の3種類の支承はいずれも橋軸および鉛直方向のバネでモデル化される。その鉛直剛性は十分に大きく、水平剛性は図-2 に示すように仮定した<sup>1)</sup>。すなわち、免震支承には鉛プラグ入り積層ゴム支承を想定し、bi-linear な履歴特性を仮定した。鋼製の可動支承には、一定の水平力に達するまでの摩擦抵抗、その後のすべり、変位制限装置による変位拘束の3区間で与えられる履歴特性を仮定した。水平反力分散支承には、ゴムの柔らかい線形な剛性と変位制限装置による変位拘束の2区間で与えられる履歴特性を仮定した。ただし、固定の場合や変位制限装置によ

る変位拘束時には十分な水平剛性を、鋼製可動支承がすべる時には微小な水平剛性を仮定した。

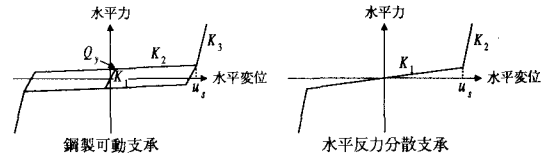


図-2 支承の履歴モデル

3. 解析手法

橋脚と橋桁を有限個のはり一柱要素に離散化し、ハミルトンの原理に従って増分型の運動方程式を有限要素法で定式化した。その際、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。また、支承の運動方程式をダランベールの原理に従って誘導した。それぞれの要素で誘導された増分型の運動方程式を合成すれば、構造系全体の運動方程式が

$$[M]\{\Delta\delta\} + [C]\{\Delta\dot{\delta}\} + [K]\{\Delta\delta\} = \{\Delta F\} + \{F_n\} - \{R_n\}$$

のように得られる。ここに、 $[K]$ は剛性マトリックス、 $[M]$ は質量マトリックス、 $[C]$ は減衰マトリックス、 $\{\Delta\delta\}$ は増分節点変位ベクトル、 $\{\Delta F\}$ は増分節点力ベクトル、 $\{F_n\} - \{R_n\}$ は不平衡節点力ベクトルである。ただし、質量マトリックスには集中質量マトリックスを、減衰マトリックスには Rayleigh 減衰を仮定した。

上式に Newmark の  $\beta$  法を適用して多元連立の非線形代数方程式に変換し、それを Newton-Raphson 法で解き、多径間連続高架橋の地震応答を求める。

4. 数値解析結果と考察

様々な多径間連続高架橋が考えられるが、ここでは 40m の等スパンからなる 3 径間連続高架橋を対象とする。橋脚は高さが 20m、幅が 2m、幅厚比が 30 の正方形断面からなり、鋼材(SM400)のひずみ硬化率は 1%とした。支承の諸量は表-1 のとおりである。鋼製支承の場合、 $P_2$  橋脚を固定とした。なお、入力地震波として、兵

庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測されたNS成分の地震加速度波形を用いた。

#### 4.1 支承上下の変位応答

$P_1$  橋脚上の支承上下の水平変位応答、すなわち、 $P_1$  橋脚頂部の変位応答(太線)と橋桁左端の変位応答(細線)を図-3に示す。鋼製支承や水平反力分散支承で支持された場合、橋桁の変位が大きくなると支承の変位制限装置が機能し、橋脚も橋桁とともに大きく変形する。一方、免震支承で支持された場合、橋脚の変位は極めて小さく抑えられる。橋桁端部の最大変位はいずれの支承の場合もほぼ同程度である。また、免震橋の場合、支承の減衰性で高架橋の振動が他の支承で支持された場合よりも速やかに収まる。

#### 4.2 橋脚基部での曲げモーメント-曲率の関係

$P_2$  橋脚基部での曲げモーメント-曲率の関係を図-

表-1 支承のパラメータ値

単位: m, tf			
免震支承			
両端橋脚上		中間橋脚上	
$K_1$	1,400	$K_1$	2,100
$K_2$	220	$K_2$	320
$Q_d$	12	$Q_d$	18
鋼製可動支承			
$K_1$	5,000	$K_2$	1
$K_3$	60,000	$Q_d$	5.5
$u_s$	0.1		
水平反力分散支承			
両端橋脚上		中間橋脚上	
$K_1$	1,000	$K_1$	1,500
$K_2$	60,000	$K_2$	60,000
$u_s$	0.05	$u_s$	0.05

4に示す。鋼製支承で支持された場合、可動支承の変位制限装置が機能し、橋桁の慣性力が固定支承以外の橋脚にも働くようになるまでの間は、固定支承を有する  $P_2$  橋脚に大きな負担がかかっている。それゆえ、 $P_2$  橋脚基部は塑性化し、大きな履歴ループを描いている。水平反力分散支承で支持される場合も  $P_2$  橋脚基部は塑性化しているが、橋桁の慣性力が4本の橋脚に分散して作用するため、その度合いは微小である。これらの支承で支持された場合、橋脚基部に塑性域が生じているのに対し、免震支承で支持された場合には、長周期化により橋桁の慣性力は低減され、また、支承部に変形が集中するため、橋脚は健全な状態にある。

#### 5. あとがき

免震支承で支持された3径間連続高架橋の地震応答を解析的に求め、鋼製支承もしくは水平反力分散支承で支持された場合との比較を行った。鋼製支承および水平反力分散支承を用いると橋脚基部に塑性域が生じるような場合でも、免震支承の採用で橋脚はかなりのゆとりをもって弾性域内で挙動することがわかった。また、免震支承で支持された場合、橋桁の水平変位が問題となるが、本解析では、いずれの支承で支持された場合でもその最大変位は同程度で、免震支承による免震の効果は十分であった。

#### 参考文献

- 1) 椋平・林川・中島・大嶽：支承部の違いによる高架橋の大地震時非線形挙動，土木学会第52回年次学術講演会講演概要集，pp.230-231，1997-9.

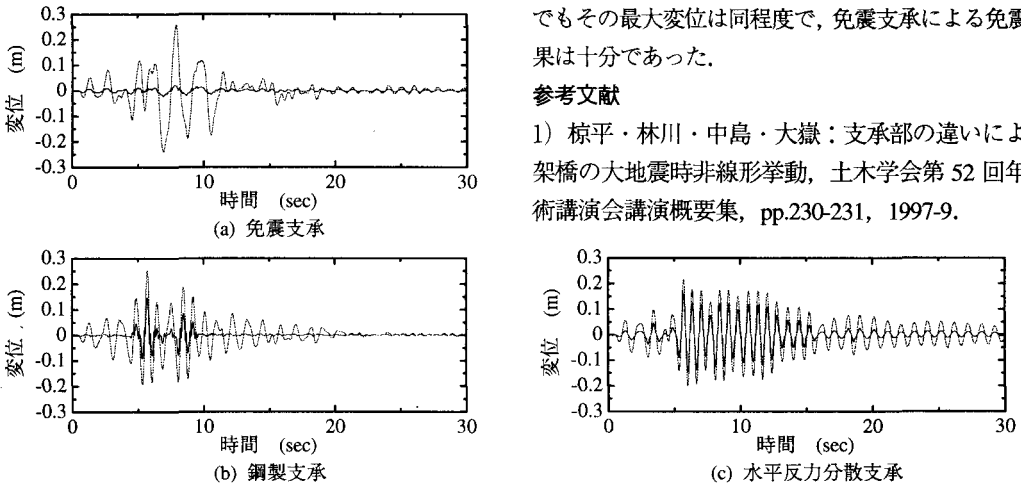


図-3  $P_1$  橋脚上における支承上下の変位応答

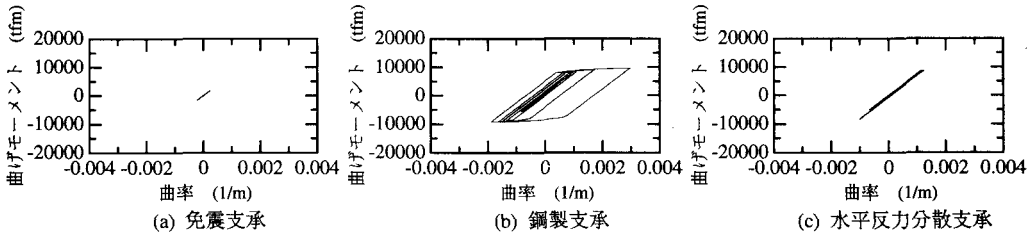


図-4  $P_2$  橋脚基部における曲げモーメント-曲率の関係