

京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃  
 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和  
 京都大学工学部 学生員 ○平井 崇士

1. はじめに

近年、橋梁の地震時安全性を高める方法として免震構造が広く採用されるようになってきているが、直下型地震に対するその挙動ならびに効果等については十分に解明されているとは言えない。本研究では、直下型地震において特徴的なパルス状の地震動に対する免震橋梁の応答特性を数値応答解析により明らかにし、LRB 型免震橋と摩擦型免震橋の応答特性の相違を検討した。

2. 直下型地震とパルス

兵庫県南部地震のような直下型地震において、特に顕著に観測されたパルス状の地震動が構造物の被害に大きな関連があるものと考えられている。従来の耐震設計で考慮されてきた地震荷重と比較して、このような入力とは構造物に対し大きな荷重が短時間に作用し、構造物の応答及び損傷もごく短時間で決定されるという点が特徴的である。図 1

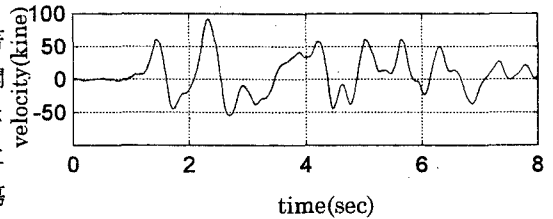


図 1 神戸海洋気象台記録 NS 成分の速度時刻歴

は兵庫県南部地震の神戸海洋気象台観測加速度記録を速度時刻歴に変換したものである。このような直下型地震の観測波形中に存在する最も大きなパルスを想定して、速度波形を図 2 のような単一の三角パルスに近似した。パラメータとしては、パルスの作用時間幅  $T(sec)$  と高さ  $V(kine)$  を考えた。図 3 は、具体的な三角パルス ( $T=0.5(sec), V=100(kine)$ ) に対する加速度応答スペクトルである。これによると、短周期領域の応答が大きくなっているが、速度が急変する部分の影響であると考えられる。

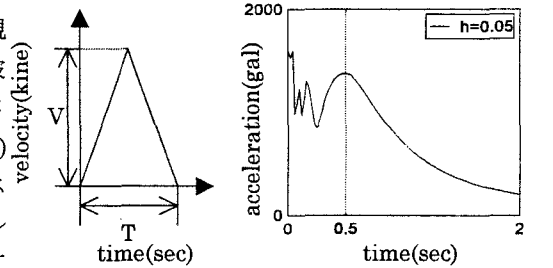


図 2 三角パルス 図 3 加速度応答スペクトル

また、パルスの作用時間幅である  $0.5(sec)$  付近になだらかな山が見られ、これがパルスの卓越成分と考えられる。ここでは、特に一方方向载荷の如き応答を与える単一パルスに対する免震橋の応答特性に着目する。

3. 解析概要

3.1 解析対象橋梁及び解析モデル

本研究で対象とした橋梁は、図 4 に示す兵庫県南部地震以降に設計された典型的な 5 径間連続橋の免震橋である。橋脚には鉄筋コンクリート、免震支承には LRB 型が採用されている。この免震橋梁を図 5 に示すような橋桁と橋脚の 2 質点系にモデル化した。免震橋の自由度は支承部と橋脚の橋軸方向の 2 自由度のみとした。

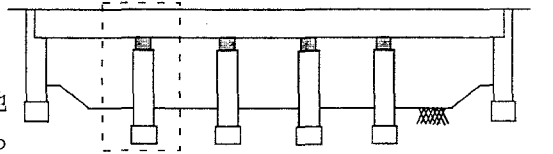


図 4 解析対象橋梁

3.2 免震支承と橋脚の復元力履歴特性

免震支承には LRB 型と摩擦型を扱い、復元力履歴特性はそれぞれ図 6、図 7 のようなバイリニア型で近似した。LRB 型は設計時のパラメータをそのまま採用し、摩擦型は LRB 型の等価剛性と等しくなるように、初期剛性を無限大と想定した上で、2 次剛性の値を設定した。LRB 型と摩擦型の等価減衰定

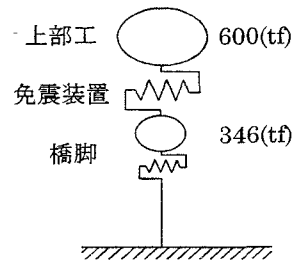


図 5 解析モデル

Akira IGARASHI, Hirokazu IEMURA, Takashi HIRAI

数はそれぞれ 0.23、0.19 である。橋脚の復元力履歴特性は、図 8 のようなトリリニア型で近似した。なお、免震支承の等価剛性と橋脚の弾性時の剛性を直列バネとしてモデル化した時の固有周期は約 1.6 秒である。

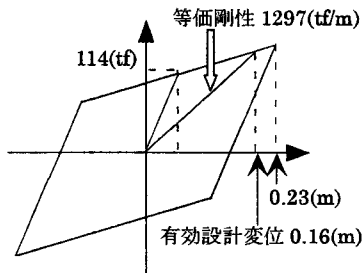


図 6 LRB 型免震支承

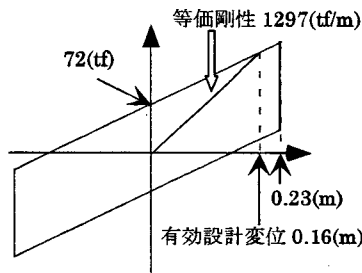


図 7 摩擦型免震支承

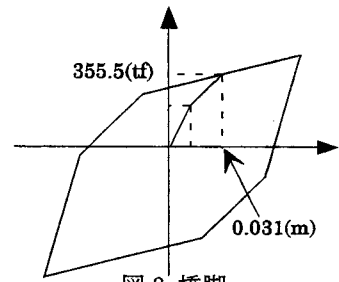


図 8 橋脚

#### 4. 解析結果

##### 4.1 免震支承の最大相対変位

図 9、図 10 はそれぞれ単一パルスの作用時間幅  $T(\text{sec})$  と高さ  $V(\text{kine})$  をパラメータとした時の LRB 型と摩擦型免震橋の免震支承の最大相対変位を 3 次元に図示したものである。LRB 型も摩擦型もパルスの時間幅により山があり、橋梁の固有周期よりも短めの約 1(sec) 付近でピークを迎えている。全体的に見ると摩擦型より LRB 型の方が等価減衰が大きいにも関わらず変位が大きく、設計変位 23.1(cm) を越える領域も存在する。また、LRB 型は摩擦型と比較してパルスの時間幅が 1(sec) からずれると急激に減少しているが、降伏力が摩擦型より大きい事が原因であると考えられる。

##### 4.2 橋脚の最大応答塑性率

図 11、図 12 はそれぞれ単一パルスの作用時間幅  $T(\text{sec})$  と高さ  $V(\text{kine})$  をパラメータとした時の LRB 型と摩擦型免震橋の橋脚の最大応答塑性率を 3 次元に図示したものである。LRB 型も摩擦型もパルスの時間幅により 2 つのピークが存在する。パルスの時間幅が長い側のピークは等価固有周期に近い。また、パルスの時間幅が短い側のピークは、免震支承により地震エネルギーを吸収することができず、橋脚に働く慣性力を低減できない状態に対応するものと考えられる。一方、LRB 型と摩擦型では橋脚の最大応答塑性率はほとんど相違は見られない。

#### 5. まとめ

本研究では、直下型地震を近似した単一パルスに対する免震橋の応答特性を明らかにした。免震支承の最大相対変位は入力パルスの時間幅によりピークが存在し、橋梁の等価固有周期よりもやや短めのパルスに対して最大値を示した。橋脚に大きな損傷を与えるパルスは、時間幅が等価固有周期に近いものと免震支承が機能できない程短いものの 2 種類が存在する。また、LRB 型と摩擦型を比較すると、LRB 型の方が等価減衰が大きいにも関わらず橋脚の最大応答塑性率はほぼ等しく、免震支承の最大相対変位についてはむしろ摩擦型の方が小さくなる傾向が見られた。

#### 【参考文献】

日本道路協会：道路橋示方書・同解説/V 耐震設計編、1996。

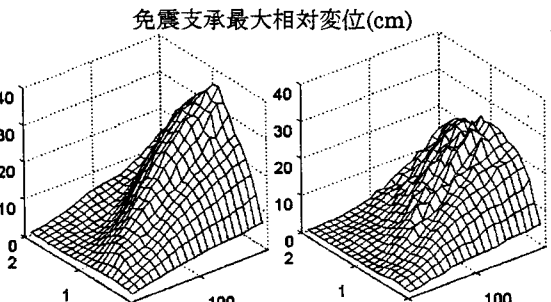


図 9 LRB 型

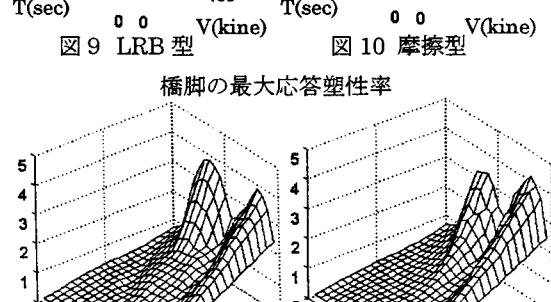


図 10 摩擦型

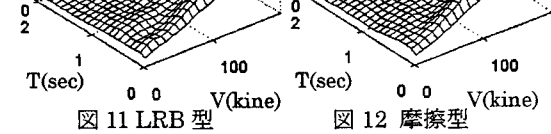


図 11 LRB 型

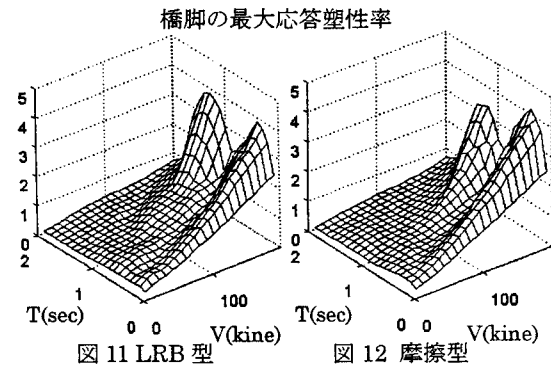


図 12 摩擦型