

京都大学工学部 学生員 ○田村 功      京都大学大学院 フェロワー 渡邊 英一  
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征      京都大学大学院 正会員 永田 和寿  
 阪神高速道路公団 正会員 足立 幸郎

## 1. 研究目的

現行の道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）では、コンクリートを充填しない単柱式鋼製橋脚や鋼製ラーメン橋脚に対しては、地震力を受けたときの応答性状、エネルギー吸収性能の評価、崩壊に至るまでの挙動などの未解明な部分が多いため、地震時保有水平耐力法のような合理的な設計法がまだ確立されておらず、動的解析に基づいた耐震設計法を行うように定められている。本研究では、実橋脚の縮小モデルを製作し、面内方向に対するハイブリッド実験を行い、鋼製ラーメン橋脚の地震時応答性状および弾塑性挙動を明らかにすることを目的とする。

## 2. 実験概要および実験結果

### 2.1 実験供試体

本研究では、阪神高速道路公団の標準的な一層の門型鋼製ラーメン橋脚として、湾岸線の岸 P34 橋脚を対象とした実験を行った。実験施設の空間的な制約から図-1 示すような約 1/17 に縮小した実験供試体を製作した。なお、実験供試体の柱部は対象橋脚の柱基部断面、はり部ははり中央部断面とする各部一様な断面の橋脚に置き換えた。また、対象橋脚に使用されている主要鋼材は SM490Y であるが、実験供試体には SS400 材を用いたため、幅厚比パラメータ ( $R_f, R_t$ )、補剛材剛比 ( $\gamma/\gamma_{L,req}$ ) の座屈パラメータを対象橋脚に可能な限り合わせ込み、対象橋脚と実験供試体の水平変位—水平荷重関係が実橋脚レベルで等しくなるように実験供試体を設計した。

### 2.2 載荷方法

軸力の載荷は、左右柱部材の真上から鉛直に 2 台のアクチュエータを用いて行った。ここで、柱基部の軸力比  $\sigma_c/\sigma_y$  ( $\sigma_c$ : 対象橋脚における上部構造死荷重により生じる軸圧縮応力、 $\sigma_y$ : 鋼材の降伏応力) を対象橋脚の軸力比レベル (降伏軸圧縮力の 4.15%) とほぼ同等とし、その荷重から水平力に比例するような変動値を与えながら載荷した。また、水平力の載荷には、左右柱上部をヒンジでリンクさせた載荷治具を用いて、1 台のアクチュエータで行った。

### 2.3 ハイブリッド実験手法

対象橋脚の上部構造は 3 径間連続の鋼床版箱桁であり、本載荷では、鋼製ラーメン橋脚の復元力特性として 1 つの水平変位と水平荷重の関係が得られるため、橋脚を等価な質量を有する 1 質点系にモデル化した。そして、載荷実験により得られた復元力の値を逐次参照しながらその運動方程式を中央差分法により解いた。ここで、橋脚の質量は等価質量として 1590ton、減衰定数は 2%、積分時間間隔は 0.01sec とした。また、剛性が 1.6MN/cm より、橋脚の等価固有周期は 0.63sec であった。

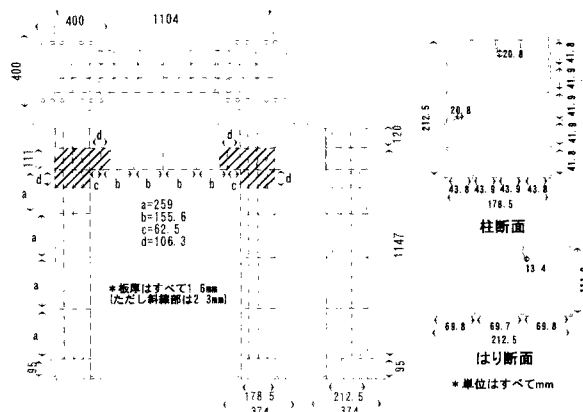


図-1 実験供試体全体図

ここで、対象橋脚はⅢ種地盤上に設置されているため、兵庫県南部地震において東神戸大橋で観測された加速度波形を、道路橋示方書に規定された加速度応答スペクトルに一致するよう波形を調整した入力地震波形を用いた。そして、この振幅を1倍、2倍、3倍と増幅させた波形を同一供試体に入力し、損傷レベルの違いによる鋼製ラーメン橋脚の地震時応答性状について検討した。

## 2. 4 実験結果および考察

振幅を1倍、2倍、3倍と増幅させながら行ったハイブリッド実験の結果の時刻歴変位応答および復元力曲線を実橋脚のレベルでそれぞれ図-2～図-7に示す。ここで、降伏変位は4.39cm、許容残留変位は19.3cm、降伏荷重は7.10MNである。ハイブリッド実験では、地震波形を30秒間入力した後、残留変位を計測するために10秒間の自由振動（入力加速度：0gal）を実施した。

1倍の加速度振幅の入力では6.9秒後に降伏変位の3.55倍の最大応答変位を生じたものの、残留変位は2.4cmで許容残留変位に収まっていた。そして、降伏荷重の2.0倍の水平荷重を示したが、最大耐荷力には達しなかった。また、荷重のピーク付近で復元力曲線の勾配が初期勾配に比べ緩やかになりループを描き始めていることから数力所で断面の一部が降伏し始めていると思われるが、目で見ても分かるような損傷は生じていなかった。

2倍の加速度振幅の入力では、まず両柱基部がわずかに座屈し始めた。その後、柱基部の座屈が進展するとともに、はり部のフランジ、ウェブプレートの板厚変化点で座屈が発生した。そして、7.8秒後に最大応答変位42.3cm（降伏変位の9.6倍）を生じた。水平荷重は最大耐力16.7MN（降伏荷重の2.35倍）に達し、複数の箇所断面全体が降伏していると思われ、耐荷力の低下が見られた。残留変位は23.7cm生じ、許容残留変位を越えた。地震波形2倍終了時の実験供試体の損傷状況を写真-1、写真-2に示す。

また、3倍の加速度振幅の入力では、7.1秒後に負側で降伏変位の16倍もの応答変位を示し、柱基部やはり部の局部座屈の進展により緩やかな劣化勾配で耐荷力が徐々に低下した。その後、耐荷力が最大耐荷力の58%まで低下した時点で実験を終了した（×印）。

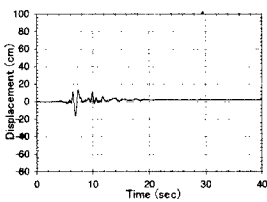


図-2 応答変位(地震波形1倍)

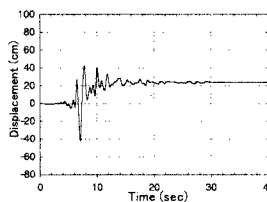


図-4 応答変位(地震波形2倍)

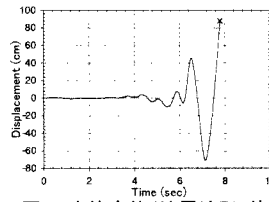


図-6 応答変位(地震波形3倍)

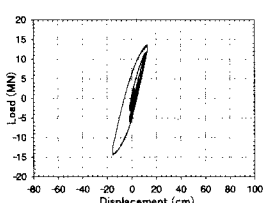


図-3 復元力曲線(地震波形1倍)

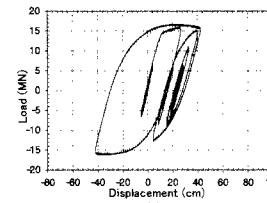


図-5 復元力曲線(地震波形2倍)

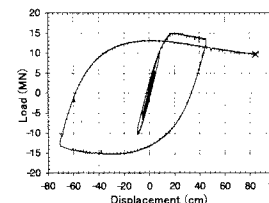


図-7 復元力曲線(地震波形3倍)

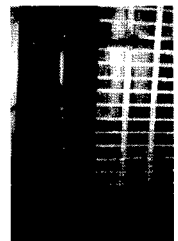


写真-1 柱基部の損傷状況(地震波形2倍終了時)



写真-2 はり部の損傷状況(地震波形2倍終了時)

## 3. 結論

対象としたラーメン橋脚は兵庫県南部地震クラスの地震に対しても降伏変位の3.55倍の最大応答変位を生じる程度で大きな損傷は見られず、十分な耐震性能を有しており、初期降伏から最大耐荷力に至る余剰耐力が降伏荷重の2.35倍と大きく強度に優れている。また、最大耐荷力時の応答変位も降伏変位の9.6倍と大きく、最大耐荷力後も揺るやかに劣化していることから変形性能にも優れていることが明らかとなった。